DE L'ÉLECTRON AU MICROPROCESSEUR

COURS 8020

Les PUBLICATIONS DU QUÉBEC

Mesures électroniques et instrumentation

Québec

Mesures électroniques et instrumentation

DE L'ÉLECTRON AU MICROPROCESSEUR

COURS 8020

Les PUBLICATIONS DU QUÉBEC

Mesures électroniques et instrumentation

Québec

Rédacteur de la version anglaise:
Daria Troubetzkoy Lewis

Réviseurs techniques de la version française:
Antonio De Novellis
Charles Trabut

Coordonnateur:
Carmine D'Amato, prof.

Cet ouvrage a été préparé par la Direction des cours par correspondance, Gouvernement du Québec.

Le contenu de cette publication est la version française de «Electronics Technology» publiée sous licence des Écoles internationales d'enseignement par correspondance canadienne limitée et il a été rédigé par le ministère de l'Éducation.

Cette édition a été produite par Les Publications du Québec.

Tous droits de traduction et d'adaptation en totalité ou en partie réservés pour tous pays. Toute reproduction par procédé mécanique ou électronique y compris la microreproduction est interdite sans l'autorisation écrite d'un représentant dûment autorisé de la Direction générale des publications gouvernementales du ministère des Communications.

Dépôt légal — 1er trimestre 1987
Bibliothèque nationale du Québec
ISBN: 2-551-08815-1

© Gouvernement du Québec, 1987

Introduction

Les cours précédents de la collection **De l'électron au microprocesseur** traitent du fonctionnement des circuits électriques. Le présent cours élabore et vulgarise les techniques des mesures concernant les circuits électroniques et leur champ d'application.

Maîtriser l'électronique est plus facile que vous ne le pensez. Il n'est pas question, dans les pages qui suivent, de notions abstraites et difficiles à saisir. En outre, les sections sont structurées de façon à vous faire progresser étape par étape. Des exercices sont également prévus pour vous permettre de vérifier votre assimilation de la matière.

Comme toujours, la théorie est réduite au minimum. On insiste surtout sur la pratique. Ainsi, après avoir étudié les unités de mesure, les types de schémas et les symboles utilisés, et après vous être familiarisé avec le code de sécurité, vous apprendrez à connaître les appareils de mesure (dont les différents types de multimètres et d'oscilloscopes). On vous enseignera également la démarche logique nécessaire à une bonne évaluation des problèmes.

Les graphiques, les figures et le texte en deux couleurs sont destinés à faciliter la compréhension, en accentuant la clarté de l'ensemble.

Il est très important de bien assimiler les notions données dans ce cours pour pouvoir entreprendre, en toute confiance, les autres cours et faire les premiers pas dans la réparation, l'entretien et le dépannage d'équipement électronique.

Apprendre l'électronique n'est pas difficile, comme vous le constaterez. Assurez-vous bien, cependant, de respecter les règles de sécurité. La lecture des manuels d'instruction des divers appareils s'avère, à cet égard, de toute première importance.

Le coordonnateur,

Carmine D'Amato

Sommaire

8020 COURS BF01
Mesures électroniques et instrumentation

BF0101	Grandeurs électroniques et principes de vérification	9
BF0102	Appareils de mesure polyvalents	63
BF0103	Appareils de mesure à pont	117
BF0104	Oscilloscope	153
BF0105	Appareils de vérification pour composants électroniques	207
BF0106	Appareils de vérification numériques	259
Index alphabétique		315

Grandeurs électroniques et principes de vérification

BF0101

Grandeurs électroniques et principes de vérification

Objectifs d'enseignement

Dans le domaine électronique, vos activités peuvent comprendre l'installation, l'entretien et le dépannage d'équipements électroniques. Le présent module est le premier d'une série conçue pour vous aider à appliquer aux circuits électroniques ce que vous avez appris sur les circuits électriques.

Le premier chapitre du module compare les grandeurs électriques aux grandeurs électroniques, ainsi que les unités qui les mesurent. Le deuxième chapitre étudie quelques types de diagrammes schématiques et de schémas électroniques utilisés pour l'entretien et le dépannage. Il donne aussi les symboles fondamentaux qui représentent les appareils électroniques. Le troisième chapitre examine certains points importants dont il faut tenir compte lors du choix d'un appareil d'essai électronique.

À la fin du module, vous devriez être en mesure:

- *De convertir les unités fondamentales de mesure électriques en unités plus grandes ou plus petites.*
- *De manipuler sans problème les différentes unités de mesure courantes utilisées en électronique.*
- *De reconnaître les symboles représentant les composants électroniques courants sur des diagrammes schématiques et autres schémas électroniques.*

Table des matières

Grandeurs électriques et grandeurs électroniques

Différence entre les grandeurs électriques et les grandeurs électroniques 13
Systèmes de mesure 14
Grandeurs et unités électriques 15
Tension 16
Intensité 17
Résistance 17
Conductance 18
Puissance 18
Inductance 18
Capacité 18
Charge électrique 19
Conversion des unités 19
Calculs relatifs à la loi d'Ohm 20
Calculs de la puissance 23
Combinaison des équations de puissance et de la loi d'Ohm 25
Calculs de l'énergie 26
Exercice de contrôle 1 29

Schémas électroniques

Diagrammes synoptiques 30
Représentations schématiques 31
Diagrammes schématiques 32
Schémas en échelle 35
Schémas de câblage 36
Schémas d'interconnexion 36
Manuels d'instructions des fabricants 38
Code de sécurité 39
Déballage et instructions de montage 39
Mise à la terre et blindage 40
Tableaux de dépannage 40
Liste des pièces de rechange et des pièces détachées 40
Exercice de contrôle 2 42

Sélection des appareillages d'essai

Lecture de l'échelle des appareils de mesure 44
Précision 45
Estimation des lectures 45
Sensibilité 46
Erreur de parallaxe 46
Effet de charge 47
Valeurs de crête et valeurs efficaces 48
Essais à basses fréquences et hautes fréquences 50
Appareils de mesure étalons 51
Étalons de temps et de fréquence 51
Manipulation de l'appareillage d'essai 51
Quelques règles de sécurité 52
Exercice de contrôle 3 54

Annexe 1: Notation scientifique 55

Annexe 2: Calculatrices et ordinateurs 58

Examen personnel 59

Lexiques 61

Grandeurs électriques et grandeurs électroniques

1 Différence entre les grandeurs électriques et les grandeurs électroniques

La mesure des grandeurs électroniques découle des mêmes *principes* que celle des grandeurs électriques. En effet, vous devez encore mesurer des tensions, des intensités et des résistances. La principale *différence* qui existe entre ces deux mesures se situe au niveau de la grandeur des nombres avec lesquels vous travaillerez.

Comme la gamme des valeurs des composants électroniques est très étendue, vous devrez travailler avec de très grands et de très petits nombres. Prenons par exemple un circuit de commande électronique. L'intensité de ce type de circuit est probablement très faible et il dissipe une petite quantité de puissance, alors que la puissance commandée par ce même circuit peut être de l'ordre du mégawatt, et un mégawatt est égal à 1 000 000 de watts. (Nous étudierons les différentes unités pratiques qui servent à mesurer les grandeurs électroniques au fur et à mesure que nous avancerons dans le cours.) Inversement, la puissance d'alimentation des composants électroniques tels que les transistors et les diodes est très faible, et vous pourrez avoir à mesurer des tensions en millivolts (un millième de volt), ou à vous servir d'un microampèremètre pour mesurer des millionièmes d'ampère!

Pour vous aider à manipuler aisément les petits et les grands nombres que vous allez rencontrer, nous allons commencer par revoir quelques notions fondamentales concernant la mesure. Nous vous montrerons ensuite comment les unités fondamentales peuvent être facilement converties en unités plus grandes ou plus petites. De plus, nous appliquerons la loi d'Ohm pour revoir comment il faut procéder pour convertir les grandes et les petites unités en unités fondamentales.

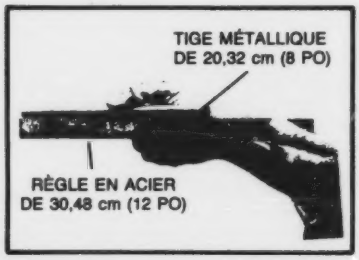


Fig. 1. Pour mesurer la longueur d'une tige métallique par exemple, vous pouvez utiliser une règle standard de 30,48 cm (12 pouces). Il suffit d'aligner une extrémité de la tige avec le point zéro de la règle, puis de trouver le point sur la règle qui s'aligne avec l'autre extrémité de la barre.

2 Systèmes de mesure

On appelle *mesure* l'action de déterminer la valeur d'une certaine grandeur par comparaison avec un étalon prédéterminé. Vous connaissez déjà la longueur (**fig. 1**), la masse et le temps, soit les unités fondamentales de tout système de mesure. À partir de ces unités fondamentales, nous pouvons calculer d'autres unités, que l'on appelle unités dérivées. Par exemple, on peut calculer la vitesse en se servant des unités de longueur (distance) et de temps:

$$\text{Vitesse} = \frac{\text{Distance}}{\text{Temps}}$$

Il est important de comprendre que des unités peuvent dériver d'autres unités. Quelquefois, lors d'essais électroniques, il est impossible ou très difficile de mesurer directement une grandeur. Par exemple, il peut être plus facile de *mesurer indirectement* l'intensité du courant en mesurant la tension et la résistance, puis en appliquant la loi d'Ohm. Sinon, il faut ouvrir le circuit pour raccorder un ampèremètre et mesurer directement le courant.

Comme vous le savez, il existe deux *systèmes de mesure* courants, le système anglais et le système métrique. Le système de mesure anglais a pour unités fondamentales le pied, la livre et la seconde. Il mesure la distance en pieds et, par conséquent, la vitesse en pieds par seconde (en *unités fondamentales*). Mais les unités fondamentales ne sont pas toujours commodes. Par exemple, si l'on veut mesurer la vitesse d'une automobile, il est plus pratique de parler de milles par heure.

L'autre système de mesure courant, le système métrique ou système SI, a pour unités fondamentales le mètre, la seconde et le kilogramme. Dans ce système, la distance ou longueur est mesurée en mètres et la vitesse en mètres par seconde (en unités fondamentales). Mais, s'il s'agit de la vitesse d'une automobile, il est plus facile de parler de kilomètres par heure.

Supposons maintenant que nous voulions comparer la vitesse de deux voitures. Si nous connaissons la vitesse de la première voiture en unités anglaises et celle de la deuxième en unités métriques, nous ne pourrons comparer les deux vitesses qu'après avoir converti l'une d'elles. Quand on manipule des unités de mesure, il faut toujours s'assurer qu'elles font partie du même système avant de faire un calcul. **Il faut toujours se servir des unités d'un même *système*.** (Évitez de comparer des pommes et des oranges!)

Il ne suffit pas que les unités appartiennent au même système de mesure, pour pouvoir les employer dans un calcul; elles doivent aussi être exprimées dans les mêmes termes *à l'intérieur* du système.

Dans le système anglais, avant d'additionner des livres et des onces, il faut d'abord convertir les onces en livres (ou les livres en onces). Pareillement, dans le système métrique ou système SI, les valeurs doivent être converties en une même unité avant d'être utilisées dans un calcul. Cette conversion est particulièrement facile dans le système métrique, car ce dernier se fonde sur les puissances de dix. **Il suffit donc de déplacer la virgule pour effectuer une conversion quelconque entre des unités pratiques et les unités fondamentales du système métrique.** Cette règle sera expliquée plus en détail dans la suite du cours.

Comme vous pouvez le voir, il faut faire certains calculs pour passer des verges aux milles dans le système anglais. Le système SI, lui, n'exige aucun calcul pour passer des millimètres ou kilomètres aux mètres, il suffit de déplacer la virgule: 25 millimètres (mm) égalent 0,025 mètre (m); 25 kilomètres (km) égalent 25 000 mètres.

3 Grandeurs et unités électriques

Vous connaissez certainement déjà les grandeurs fondamentales que vous allez mesurer dans les circuits électroniques. On mesure en *volts* la force électromotrice (f.é.m.), ou la différence de potentiel entre deux points d'un circuit. L'intensité du courant dans un circuit est mesurée en *ampères*. La résistance des composants du circuit est mesurée en *ohms*. On peut se servir de ces unités fondamentales pour mesurer d'autres grandeurs importantes, comme la puissance et l'énergie.

Les unités fondamentales sont donc le volt, l'ampère et l'ohm. Ces unités électriques sont utilisées dans le système anglais comme dans le système SI. Il est facile d'effectuer des conversions entre les unités fondamentales du système SI et les unités pratiques qui servent à mesurer une quantité donnée puisque toutes les unités sont des multiples de 10.

Le tableau 1 présente certains préfixes normalisés qui servent à indiquer une unité pratique. La puissance de 10 à laquelle correspond chaque préfixe, ainsi que le facteur de multiplication, sont également donnés.

Tableau 1

Préfixes normalisés en électronique

Préfixe	Puissance de 10	Multiplié par
* Téra	10^{12}	1 000 000 000 000
Giga	10^{9}	1 000 000 000
Méga	10^{6}	1 000 000
* Myria	10^{4}	10 000
Kilo	10^{3}	1 000
* Hecto	10^{2}	100
* Déca	10^{1}	10
—	10^{0}	1
* Déci	10^{-1}	0,1
* Centi	10^{-2}	0,01
Milli	10^{-3}	0,001
Micro	10^{-6}	0,000 001
Nano	10^{-9}	0,000 000 001
Pico (micromicro)	10^{-12}	0,000 000 000 001

* Les préfixes précédés d'un astérisque ne sont pas utilisés en électronique.

Par exemple, le préfixe *kilo* indique que l'unité fondamentale doit être ***multipliée*** par 1 000. Ainsi, un kilowatt (kW) vaut 1 000 watts (W).

Par ailleurs, le préfixe *milli* indique que l'unité fondamentale doit être ***divisée*** par 1 000. Un milliampère (mA) est égal à un millième d'ampère (A). Un millivolt (mV) est égal à un millième de volt (V).

À mesure que nous passons en revue les unités fondamentales de mesure des grandeurs électriques et électroniques, reportez-vous au tableau 1 pour convertir les unités pratiques en unités fondamentales, et inversement.

4 Tension

L'unité fondamentale de mesure de la tension ou de la f.é.m. est le volt. Le volt représente la force électromotrice produisant une intensité de courant de 1 ampère dans une résistance de 1 ohm.

Dans les circuits électroniques, on utilise couramment de très faibles tensions mesurées en *millivolt* ou en *microvolt*. Rappelez-vous qu'un millivolt est un millième de volt et qu'un microvolt (μV) est un millionième de volt.

De même, les tensions élevées sont mesurées en kilovolts (kV) et mégavolts (MV). Un kilovolt est égal à 1 000 volts, et un mégavolt est égal à 1 000 000 de volts.

5 Intensité

L'ampère est l'unité fondamentale permettant la mesure de l'intensité du courant électrique, soit le flux d'électricité qui circule dans un circuit. Un ampère représente l'intensité de courant dans une résistance de 1 ohm quand la tension appliquée est de 1 volt.

Puisque le courant dans les circuits électroniques est la plupart du temps très faible, l'ampère est une unité de mesure beaucoup trop grande. L'unité pratique la plus courante est le *milliampère*; le *microampère* (μA) est également utilisé. Un milliampère est égal à un millième d'ampère, tandis qu'un microampère est égal à un millionième d'ampère.

Reportez-vous maintenant au tableau 1. Vous voyez que pour convertir 4 milliampères en ampères, il faut diviser par 1 000 (ou multiplier par 0,001). Ainsi, 4 mA = 0,004 A.

6 Résistance

L'unité fondamentale de résistance est l'*ohm*. Le symbole de l'ohm est Ω, soit la lettre grecque *oméga*. Un ohm représente la résistance qui limite à 1 ampère l'intensité du courant produit par une tension appliquée de 1 volt.

Les résistances élevées des circuits électroniques se mesurent habituellement par des unités plus grandes que l'ohm, comme le *kilohm* (abrégé *k*, *k*Ω, ou *K*Ω), qui est égal à 1 000 ohms. Un *mégohm* (abrégé *meg*, *M* ou *M*Ω) est égal à 1 000 000 d'ohms. (Si vous lisez quelque part «megs», il s'agit de l'abréviation de mégohms).

7 Conductance

L'unité fondamentale de conductance est le *mho*. La conductance est l'aptitude d'un matériau à conduire le courant électrique. Si une tension de 1 volt est appliquée à un conducteur ayant une conductance de 1 mho, une intensité de 1 ampère traverse le conducteur.

Observez que *mho* est en réalité *ohm*, écrit à l'envers. Notez aussi la similitude des définitions de l'ohm et de mho. L'ohm et le mho sont réciproques. On obtient ainsi la formule mathématique: 1 ohm $= \frac{1}{\text{mho}}$ et 1 mho $= \frac{1}{\text{ohm}}$

Dans le système international SI, la conductance se mesure en siemens (S).

8 Puissance

Le *watt* est l'unité fondamentale de puissance électrique. La puissance électrique représente le produit de la tension par le courant.

Bien que la gamme de certains circuits électroniques soit en *kilowatts*, la puissance nominale de la plupart des équipements électroniques s'étend d'une fraction de watt à plusieurs centaines de watts. Vous trouverez aussi des *milliwatts* (mW), voire des *microwatts* (μW) dans certains essais électroniques.

9 Inductance

L'unité fondamentale d'inductance est le *henry* (H). L'inductance est la propriété des conducteurs électriques à s'opposer à toute variation du courant dans le conducteur. L'effet global de l'inductance est de tenter de maintenir le courant à une valeur constante.

Dans les applications électroniques, l'inductance nominale des bobines est souvent exprimée en *henrys*, *millihenrys* (mH) et *microhenrys* (μH). Il n'est probablement plus nécessaire de vous expliquer qu'un millihenry est égal à un millième de henry et qu'un microhenry est égal à un millionième de henry.

10 Capacité

L'unité fondamentale de capacité est le *farad* (F). La *capacité* est la propriété des composants électriques qui leur permet d'emmagasiner de l'énergie électrique sous forme électrostalique; un condensateur est un *dispositif* qui emmagasine et libère de l'énergie électrique.

Le farad est une unité de capacité très grande. Les unités pratiques de capacité que vous utiliserez le plus fréquemment sont le *microfarad* (μF), qui est égal à un millionième de farad (10^{-6}), et le *picofarad* (pF). Ce dernier est égal à un millionième de microfarad, ou encore un millionième d'un millionième de farad, c'est-à-dire 1×10^{-12} farad! (Nous faisons appel ici à la notation scientifique. Les exposants sont très pratiques lorsqu'on travaille sur de très grands nombres et de très petits nombres. Vous trouverez en annexe, un bref rappel des règles sur la notation scientifique.)

Dans les équipements électriques, les condensateurs sont employés essentiellement pour la correction du facteur de puissance, dans les circuits de temporisation, comme déphaseurs (pour faire démarrer un moteur par exemple), et comme suppresseurs d'étincelles. L'unité pratique couramment utilisée est le microfarad. Cependant, en électronique où les condensateurs sont utilisés dans les circuits oscillants, les générateurs de fréquences, les dispositifs de couplage et les filtres, le picofarad est une unité pratique courante.

11 Charge électrique

L'unité fondamentale de charge électrique est le *coulomb* (C). Rappelez-vous vos études en électricité de base: lorsqu'un corps perd ou acquiert des électrons, il devient porteur de charges électriques. S'il y a perte d'un électron, la charge devient positive; s'il y a gain d'un électron, la charge devient négative.

Le coulomb représente la charge produite par 6 280 000 000 000 000 000 d'électrons. Avec un exposant, on écrit $6{,}28 \times 10^{18}$ électrons.

Naturellement, vous n'aurez jamais l'occasion de mesurer des coulombs. Vous devez toutefois savoir que le coulomb est l'unité fondamentale de charge électrique, car vous le rencontrerez au cours de vos études.

12 Conversion des unités

Lorsque nous avons parlé de mesure, nous avons dit que les grandeurs devaient être exprimées dans la même unité avant d'être utilisées dans un calcul. Si toutes les unités ne *sont pas* les mêmes, il faut les convertir. La conversion des grandeurs d'unités fondamentales empêche les erreurs et simplifie les calculs.

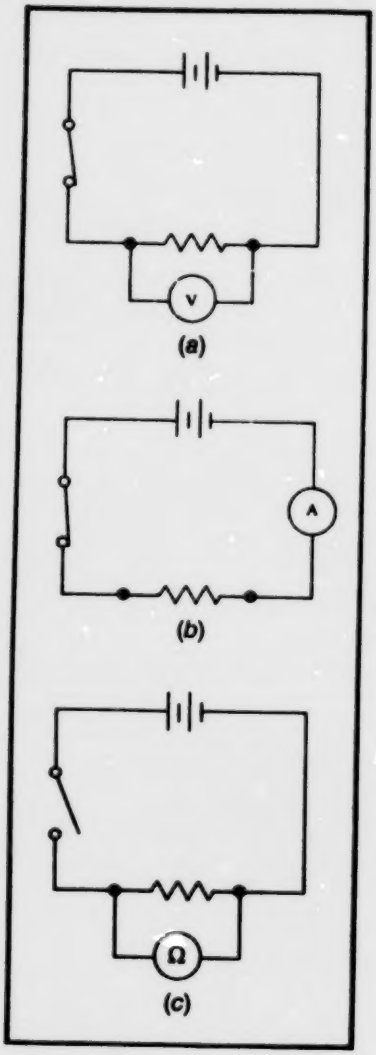


Fig. 2. La tension et l'intensité doivent être mesurées dans des circuits sous tension, comme en (*a*) et (*b*). La résistance ne doit être mesurée que dans un circuit non alimenté comme en (*c*).

Supposons par exemple que vous ayez 400 microampères à exprimer en ampères. Vous pouvez vous reporter au tableau 1:

$$400\ \mu A = 400 \times 0{,}000\ 001 = 0{,}0004\ A$$

Ce n'est pas trop compliqué, direz-vous. Mais existe-t-il une méthode plus *simple*?

En fait, il *existe* une autre méthode que vous trouverez probablement plus facile à utiliser avec des grandeurs très grandes ou très petites. Reportez-vous de nouveau au tableau 1: vous voyez que la colonne centrale s'intitule «Puissance de 10». Au lieu de multiplier le nombre, vous pouvez utiliser la valeur inscrite dans la colonne du milieu pour écrire le nombre avec un exposant. Reprenons l'exemple des 400 microampères. Nous avons vu au tableau 1 que la puissance de 10 correspondant au préfixe «Micro» est 10^{-6}. Cela signifie que $1\ \mu A = 1 \times 10^{-6}$ A. Donc $400\ \mu A = 400 \times 10^{-6}$ A ou 4×10^{-4} A.

Les exposants facilitent l'addition, la soustraction, la multiplication et la division. Si vous voulez revoir les règles de calcul en notation scientifique, il vous suffit de vous reporter à l'annexe 1, à la fin de ce cours.

La plupart des calculs de base, cependant, n'exigent pas l'utilisation des exposants. Comme il est facile de multiplier par 10, vous pouvez parfaitement utiliser les unités pratiques, même si elles sont très grandes ou très petites. La méthode choisie dépend de celle que vous jugerez la plus facile.

Dans la section suivante, les deux méthodes sont démontrées pour que vous puissiez choisir celle qui *vous* convient le mieux.

13 Calculs relatifs à la loi d'Ohm

Comme vous l'avez appris dans d'autres cours, la loi d'Ohm définit la relation entre la tension appliquée, la résistance du circuit et l'intensité du courant.

Vous rappelez-vous le circuit simple utilisé dans les cours en électricité de base? Il ressemblait un peu à celui de la **figure 2**. Pour

mesurer la tension, vous devez brancher un voltmètre comme en (*a*), et lire la tension directement sur le voltmètre.

Mais supposez que votre voltmètre soit grillé. Si vous aviez un ampèremètre et un ohmmètre, vous pourriez quand même déterminer la tension, puisque la tension, l'intensité et la résistance sont reliées par la loi d'Ohm. **Il vous suffit de connaître deux des valeurs pour calculer la troisième.**

Vous pourriez brancher l'ampèremètre comme en (*b*), et mesurer l'intensité du *courant* dans le circuit. Vous liriez alors l'intensité directement sur l'ampèremètre puis vous pourriez mesurer la résistance en raccordant un ohmmètre comme en (*c*). Rappelez-vous que pour mesurer la *résistance*, l'interrupteur doit être ouvert, car **un ohmmètre ne doit *jamais* être raccordé à un circuit sous tension.** Vous liriez alors la résistance en ohms, directement sur l'ohmmètre.

Selon la loi d'Ohm, le courant circulant dans un circuit électrique fermé est directement proportionnel à la tension appliquée et inversement proportionnel à la résistance du circuit. En d'autres termes, si la tension aux bornes d'un circuit à résistance constante *augmente*, le courant *augmente* aussi. Si la tension reste constante et la résistance *augmente*, le courant *diminue*. Cette relation s'exprime par l'équation suivante:

$$I = \frac{E}{R} \quad \text{ou} \quad I = E \times \frac{1}{R}$$

où I = intensité, en ampères
E = tension ou différence de potentiel, en volts
R = résistance, en ohms

L'équation est utilisée sous cette forme pour trouver l'intensité quand on connaît la tension appliquée et la résistance du circuit.

Contrôle rapide: si la tension appliquée E dans la **figure 3** est de 100 volts, et la résistance R est égale à 10 Ω, quelle sera l'intensité I?

Dans l'équation $I = \frac{E}{R}$, remplaçons les lettres par leur valeur numérique:

$$I = \frac{100}{10} = 10 \text{ A}$$

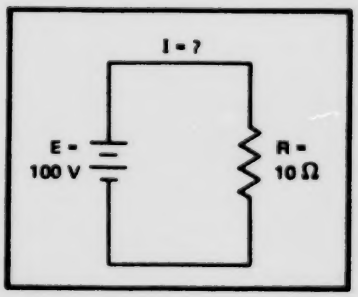


Fig. 3. Circuit électrique de base.

Si on fait passer R à 10 kΩ, on a une diminution de l'intensité. Reprenons la même équation:

$$I = \frac{100}{10\,000} = 0{,}01 \text{ A (ou 10 mA)}$$

Supposons maintenant que vous connaissiez l'intensité et la résistance d'un circuit. Comment calculer la tension appliquée? Si vous multipliez par R les deux membres de la première équation, on obtient $IR = E$

$$I(R) = \frac{E(R)}{R}$$
$$IR = E$$

Par exemple, pour une résistance de 47 kΩ et une intensité de 0,015 ampère, on peut facilement trouver la tension appliquée. Prenons l'équation $IR = E$, et remplaçons les lettres par leur valeur numérique:

$$E = (0{,}015)\ (47\,000)$$
$$= 705 \text{ V}$$

Utilisons les exposants scientifiques pour ce même calcul:

$$E = (1{,}5 \times 10^{-2})\ (4{,}7 \times 10^{4})$$
$$= 7{,}05 \times 10^{2} = 705 \text{ V}$$

On peut écrire autrement l'équation de la loi d'Ohm. Si vous connaissez l'intensité du courant et la tension appliquée, et si vous voulez connaître la résistance, il suffit d'écrire

$$R = \frac{E}{I}$$

On obtient cette équation en divisant par I les deux membres de l'équation $IR = E$.

$$\frac{IR}{I} = \frac{E}{I}$$
$$R = \frac{E}{I}$$

Si le courant dans le circuit a une intensité de 10 mA, et la tension appliquée est de 45 V, quelle sera la résistance? Il suffit de reprendre l'équation précédente en remplaçant les lettres par leur valeur numérique:

$$R = \frac{45}{0{,}01}$$
$$= 4500\ \Omega$$

14 Calculs de la puissance

Lorsque nous avons défini le watt, nous avons dit que la puissance électrique représente le produit de la tension par le courant. En courant continu, l'équation devient:

$$P = EI$$

où P = puissance, en watts
E = tension, ou différence de potentiel, en volts
I = intensité, en ampères

Tout comme la loi d'Ohm peut servir à trouver la troisième grandeur lorsque les deux autres sont connues, cette équation permet de trouver une troisième grandeur quand on connaît les deux autres.

$P = EI$ est l'équation à utiliser si vous connaissez la tension et l'intensité et que vous voulez connaître la puissance. Prenons par exemple une tension appliquée de 700 V et un courant d'intensité I égal à 0,015 A. Calculons la puissance dans l'équation $P = EI$ en remplaçant les lettres par leur valeur numérique:

$$P = 700 \times 0{,}015$$
$$= 10{,}5\ \text{W}$$

Avec les exposants:

$$P = (7 \times 10^{2})\ (1{,}5 \times 10^{-2})$$
$$= 10{,}5\ \text{W}$$

Bien sûr, si vous aviez un wattmètre et le raccordiez convenablement, vous pourriez lire la puissance en watts directement sur l'appareil de mesure.

Si vous connaissez la puissance nominale et l'intensité d'un appareil, vous pouvez déterminer la chute de tension en divisant les deux membres de l'équation par I. Il restera E dans le membre de droite.

$$\frac{P}{I} = \frac{EI}{I}$$

$$\frac{P}{I} = E$$

Supposons que l'intensité du courant soit de 10 A et que la puissance soit de 1 000 watts. L'équation devient alors:

$$E = \frac{P}{I}$$

$$= \frac{1000}{10}$$

$$= 100 \text{ V}$$

Ici, nous pouvons modifier aussi l'équation pour obtenir la troisième grandeur seule à gauche ou à droite. Si nous connaissons la puissance utile et la tension appliquée, nous pouvons trouver l'intensité du courant: reprenons la première équation $P = EI$, et divisons les deux membres par E (et non par I): il reste I à droite:

$$\frac{P}{E} = \frac{EI}{E}$$

$$I = \frac{P}{E}$$

Quand une ampoule de 120 V, 60 W est allumée, quelle est l'intensité du courant qui la traverse? Remplaçons les lettres de l'équation par leur valeur numérique:

$$I = \frac{P}{E}$$

$$I = \frac{60}{120}$$

$$0{,}5 \text{ A}$$

15 Combinaison des équations de puissance et de la loi d'Ohm

Nous avons déjà démontré que la loi d'Ohm appliquée au calcul de l'intensité du courant circulant dans un circuit s'écrivait

$$I = \frac{E}{R}.$$

Nous connaissons aussi l'équation qui permet de calculer la puissance dissipée dans un circuit électrique quand on connaît la résistance de ce dernier: $P = EI$.

Comme $I = \frac{E}{R}$ on peut remplacer par $\frac{E}{R}$ le I de l'équation $P = EI$. On obtient alors:

$$P = E \times \frac{E}{R}$$

ce qui peut s'écrire

$$P = \frac{E \times E}{R}$$

ou encore

$$P = \frac{E^2}{R}$$

Cela signifie que la puissance varie proportionnellement au carré de la tension. En d'autres termes, si vous doublez la tension, la puissance est multipliée par 4; si vous triplez la tension, la puissance est multipliée par 9 et ainsi de suite.

Il existe une autre équation importante que l'on obtient en écrivant, dans l'équation de la puissance, la valeur de E tirée de la loi d'Ohm. Selon cette dernière, la tension E est égale au produit de l'intensité I par la résistance R. En d'autres termes, $E = IR$.

Si on remplace E par IR, on obtient:

$$P = (I \times R) \times I$$

ce qui est la même chose que

$$P = I \times I \times R$$

c'est-à-dire

$$P = I^2R.$$

Cette équation montre que la puissance varie proportionnellement au carré de l'intensité. Par exemple, supposons que $R = 1\ \Omega$ quand $I = 1$ A. On a alors: $P = I^2R = 1^2 \times 1 = 1$ W

$$P = 1^2 \times 1 = 1 \text{ W}$$

Quand $I = 2$ A, $P = 2^2 \times 1 = 4$ W; quand $I = 3$ A, $P = 3^2 \times 1 = 9$ W, etc.

Cette équation est quelquefois appelée équation I^2R ou équation de la perte en ligne (ou perte par effet Joule). La puissance produit de la chaleur dans un circuit électrique. Dans la plupart des circuits, l'énergie dissipée sous forme de chaleur représente une perte pour le circuit. L'expression I^2R est également importante parce qu'elle indique la quantité de refroidissement nécessaire pour assurer le fonctionnement d'un appareil dans les limites de température nominales.

Naturellement, nous souhaitons quelquefois obtenir de la chaleur à partir d'un circuit: nous voulons que le grille-pain ou le sèche-cheveux s'échauffent par exemple. Et, dans un tube cathodique, il faut bien chauffer la cathode pour qu'elle expulse des électrons. Ici aussi, la chaleur dégagée est proportionnelle à I^2R.

16 Calculs de l'énergie

Quand une puissance électrique est consommée pendant un certain temps, elle exécute un travail. L'énergie électrique est déterminée par le produit de la puissance consommée par la durée de cette consommation, soit: travail = puissance × temps, ou encore:

$$W = Pt$$

où W = énergie (ou travail), en watts-heures
P = puissance, en watts
t = temps, en heures

L'unité courante d'énergie électrique est le watt-heure (Wh). Un *watt-heure* d'énergie électrique est produit lorsqu'une puissance de 1 watt est appliquée pendant 1 heure.

Une unité d'énergie plus petite est le *watt-seconde* (Ws). Un watt-seconde est égale à $\frac{1}{3600}$ d'un watt-heure (ou encore, un watt-heure est égal à 3 600 watts-secondes), une heure valant 3 600 secondes.

Une unité d'énergie plus grande est le *kilowatt-heure* (kWh). Un kilowatt-heure est égal à 1 000 watts-heures. (Quand nous payons notre facture d'électricité, nous payons le nombre de kilowatts-heures utilisés.)

Il existe entre le kilowatt-heure et le watt-seconde une différence fondamentale de principe: le kilowatt-heure suit les règles que nous avons données relativement à la conversion de très grandes et de très petites unités en unités fondamentales, alors que le watt-

seconde ne suit PAS ces règles. *Kilo* est le préfixe qui nous indique que l'unité fondamentale doit être multipliée par 1 000. Un kilowatt-heure est donc égal à 1 watt-heure multiplié par 1 000.

Toutefois, la conversion des watts-secondes en watts-heures se base sur le fait qu'il y a 3 600 secondes dans une heure. Il faut fonc diviser les watts-secondes par 3 600. Inversement, pour convertir des watts-heures en watts-secondes, il faut multiplier par 3 600. On procède comme suit:

$$\frac{60 \text{ secondes}}{1 \text{ minute}} \times \frac{60 \text{ minutes}}{1 \text{ heure}} = \frac{3\,600 \text{ secondes}}{1 \text{ heure}}$$

Prenons quelques exemples simples.

Un moteur de 1 HP (horse-power) fournit 746 W d'énergie électrique. Si le moteur fonctionne pendant une demi-heure, quelle est l'énergie fournie, en kilowatts-heures?

$$\begin{aligned} W &= Pt \\ &= 746 \times 0{,}5 \\ &= 373 \text{ Wh} \end{aligned}$$

Comme le problème demande une réponse en kilowatts-heures, nous convertissons les watts-heures en kilowatts-heures en divisant par 1 000:

$$\frac{373}{1000} = 0{,}373 \text{ kWh}$$

Si maintenant le même moteur fonctionne pendant 40 h, quelle est l'énergie fournie, en kilowatts-heures?

$$\begin{aligned} W &= 746 \times 40 \\ &= 29\,840 \text{ Wh} \end{aligned}$$

Une fois de plus, nous devons convertir les watts-heures en kilowatts-heures en divisant par 1 000:

$$29\,840 \div 1\,000 = 29{,}84 \text{ kWh.}$$

Prenons le cas d'un dispositif électronique de 100 W et d'un autre de 75 W, tous les deux alimentés par l'intermédiaire d'un watt-heuremètre. Si le circuit est soudainement fermé, et qu'à ce moment-là le compteur indique 33,6 kWh, déterminez le temps de fonctionnement des dispositifs.

Tout d'abord, il faut trouver la puissance totale en watts utilisée par les deux dispositifs, soit: 100 W + 75 W = 175 W.

Vous cherchez le temps. Il suffit d'écrire l'équation autrement pour obtenir le temps d'un côté de l'équation.

On avait au départ:

$$W = Pt$$

Divisons chaque membre par la puissance, et nous obtenons:

$$\frac{W}{P} = \frac{Pt}{P}$$

L'équation s'écrit alors:

$$\frac{W}{P} = t$$

Remplaçons les lettres qui indiquent le travail et la puissance par leur valeur numérique:

$$\frac{33\ 600}{175} = t$$

$$192 = t$$

$$\frac{192}{24} = 8 \text{ jours}$$

Vous devez être maintenant bien familiarisé avec les calculs de ce genre et devez pouvoir les effectuer. Bien sûr, vous n'aurez souvent rien à calculer puisque les différents compteurs sont là pour ça. Mais, comme nous l'avons déjà dit, une mesure indirecte peut être plus facile à obtenir qu'une mesure directe. Cela vous sera beaucoup plus facile si vous connaissez la grandeur des mesures que vous devez manipuler.

Si vous vous exercez à convertir les unités pratiques en unités fondamentales, vous comprendrez mieux ce que vous faites quand vous réglerez le sélecteur de gamme d'un multimètre.

Exercice de contrôle 1

Faites une pause pour revoir quelques points-clés. Maintenant répondez aux questions suivantes. Vérifiez vos réponses et si elles sont différentes des nôtres vous trouverez l'explication à la section donnée à chaque réponse.

Vos réponses

1. L'unité fondamentale de longueur dans le système de mesure SI est le _____ .

   1. _____

2. Un mégavolt est (plus grand, plus petit) _____ qu'un volt.

   2. _____

3. Vrai ou faux? Mille mètres sont égaux à 1 millimètre?

   3. Vrai Faux
   (Encerclez la bonne réponse)

4. Quelle est l'unité abrégée en $\mu\mu$F?

   4. _____

Dans l'espace réservé en face de chaque mot de la colonne de droite, inscrivez la lettre correspondant à l'expression suivante qui l'explique le mieux.

5. *a.* Unité de puissance électrique
   b. Unité de charge électrique
   c. Unité d'inductance
   d. Unité de courant électrique
   e. Unité de capacité

   5. ___ coulomb
   ___ farad
   ___ henry
   ___ watt
   ___ ampère

6. Si la résistance d'un circuit est de 50 kilohms et le courant de 0,012 A, quelle est la tension appliquée (en puissance de 10)?

   6. _____

Réponses aux questions de l'exercice de contrôle 1

1. mètre — Section 2
2. plus grand — Section 3, 4; tableau 1
3. Faux (Un millième de mètre est égal à 1 millimètre.) — tableau 1
4. Picofarad — Section 10
5. *b* coulomb — Section 11
   e farad — Section 10
   c henry — Section 9
   a watt — Section 8
   d ampère — Section 5
6. 6×10^2 V — Section 13
   $(E = IR$
   $= 1{,}2 \times 10^{-2} \times 5 \times 10^4$
   $= 6 \times 10^2$ V)

Schémas électroniques

17 Diagrammes synoptiques

Pour effectuer des essais électroniques, vous devez utiliser différents types de schémas et de dessins. Il en existe trois types fondamentaux: les diagrammes synoptiques, les représentations schématiques et les diagrammes schématiques.

Un diagramme synoptique représente un système complet, souvent complexe, sous une forme simplifiée. On peut alors comprendre facilement les relations entre les différentes parties. Un diagramme synoptique est souvent utile lors du dépannage d'un système complexe, car il aide à repérer les bornes d'entrée et de sortie des sous-ensembles. Normalement, on utilise les diagrammes synoptiques surtout comme aide didactique. Le fait de dessiner un diagramme synoptique peut vous aider à comprendre le fonctionnement d'un certain montage ou à établir la relation entre différents composants.

Vous êtes probablement déjà familiarisé avec les diagrammes synoptiques. Par exemple, les arbres généalogiques sont souvent présentés sous la forme d'un diagramme synoptique. L'organigramme d'un ordinateur est un autre type de diagramme synoptique. Tout comme de nombreux diagrammes synoptiques électroniques, un organigramme utilise des symboles de base, genre «sténographie», de façon que le lecteur comprenne mieux la succession des opérations. Dans un organigramme d'ordinateur, la forme même des blocs donne une information quant à la nature de l'opération exécutée à ce stade. Un cercle indique le début ou la fin d'un programme, un losange indique qu'une décision doit être prise et d'autres formes représentent encore d'autres opérations.

Toutefois, dans un diagramme synoptique il n'y a habituellement que quelques symboles (fig. 4). Des blocs identifiés et reliés les uns aux autres par des lignes droites indiquent la succession des opérations.

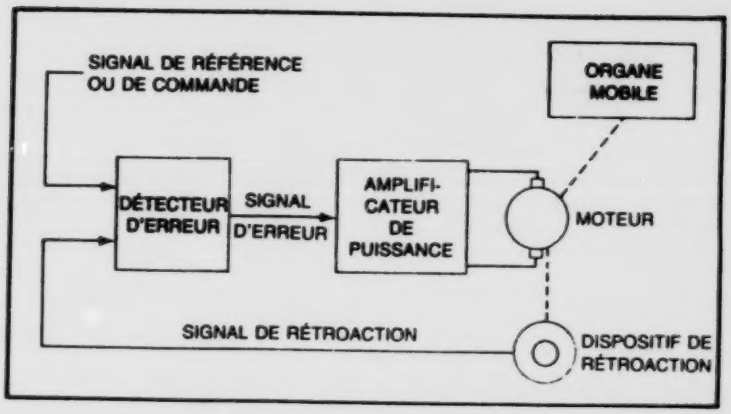


Fig. 4. Dans un diagramme synoptique, des blocs portant une information représentent les parties principales, et des lignes droites établissent les relations entre elles.

18 Représentations schématiques

Un représentation schématique montre l'aspect réel des composants (**fig. 5**). Et comme ce type de schéma indique l'emplacement des

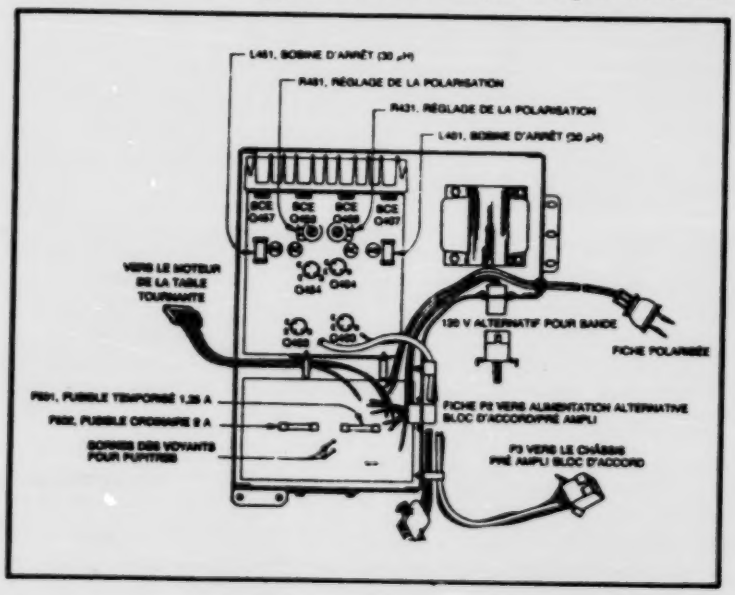


Fig. 5. Un schéma de câblage est un dessin plan qui représente le montage réel des différents composants sur un châssis.

composants, il est très utile pour le remplacement des pièces. Ce schéma indique souvent aussi les points de mesure. Ces dessins sont fréquemment utilisés pour illustrer le texte d'un manuel d'instructions.

On utilise quelquefois un dessin à trois dimensions, comme celui de la **figure 6**, quand on veut expliquer une opération complexe étape par étape ou un ensemble détaillé.

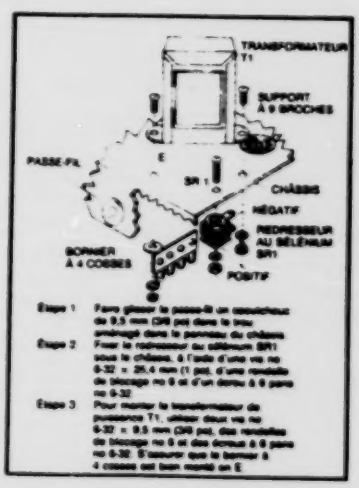


Fig. 6. Vue éclatée illustrant l'ensemble mécanique d'un dispositif électronique, avec instructions de montage.

La **figure 7** présente un schéma de câblage d'un circuit électronique. Notez les codes de couleur des fils.

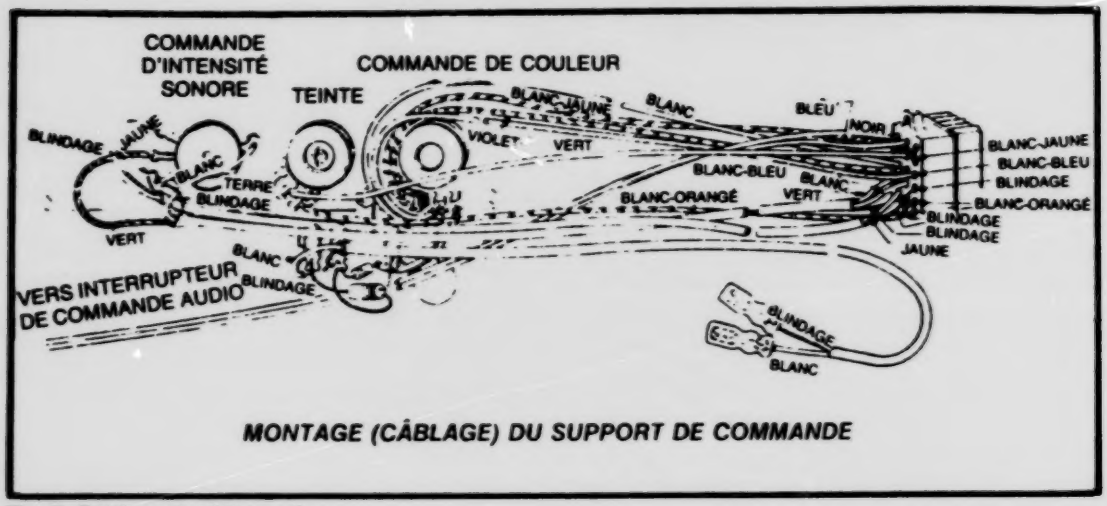


Fig. 7. Schéma de câblage d'un circuit électronique.

19 Diagrammes schématiques

Un diagramme schématique est la présentation d'un circuit électrique sous forme graphique. Les composants sont remplacés par des symboles. Les diagrammes schématiques ne sont pas dessinés à l'échelle et n'indiquent pas nécessairement la forme réelle du dispositif ni la vraie disposition du câblage. **Un diagramme schématique indique uniquement les relations électriques entre les composants, c'est-à-dire le trajet du courant dans le circuit.**

Bien que le diagramme schématique d'un circuit électronique complexe puisse sembler très compliqué, il se lit exactement comme si vous lisiez l'un des diagrammes schématiques simples que vous avez rencontrés dans les cours d'électricité de base.

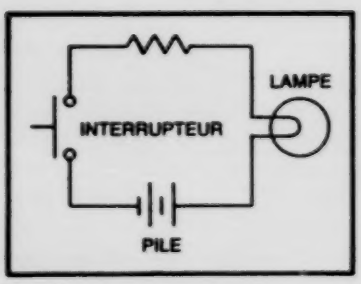


Fig. 8. Tout comme les diagrammes schématiques plus complexes que vous utiliserez en électronique, ce petit schéma vous explique les relations électriques entre les composants.

Vous rappelez-vous le diagramme schématique d'un circuit en série comprenant une pile sèche, une résistance, une lampe et un interrupteur? Il ressemblait un peu à ce qui est présenté sur la **figure 8**. Pour bien comprendre ce diagramme schématique, vous avez dû reconnaître les symboles d'une résistance, d'une pile sèche, d'une lampe et d'un interrupteur. Vous deviez aussi savoir qu'un conducteur était représenté par une droite, et que les points noirs où des droites se croisent ou rencontrent d'autres symboles indiquaient une connexion en ce point. **La seule condition nécessaire pour lire un diagramme schématique est de connaître la signification des différents symboles pour pouvoir suivre la séquence.**

La **figure 9** donne quelques-uns des symboles que l'on rencontre fréquemment dans les diagrammes schématiques électroniques. Ces symboles peuvent sembler complexes à première vue, mais à force de les utiliser, ils deviendront pour vous une seconde nature.

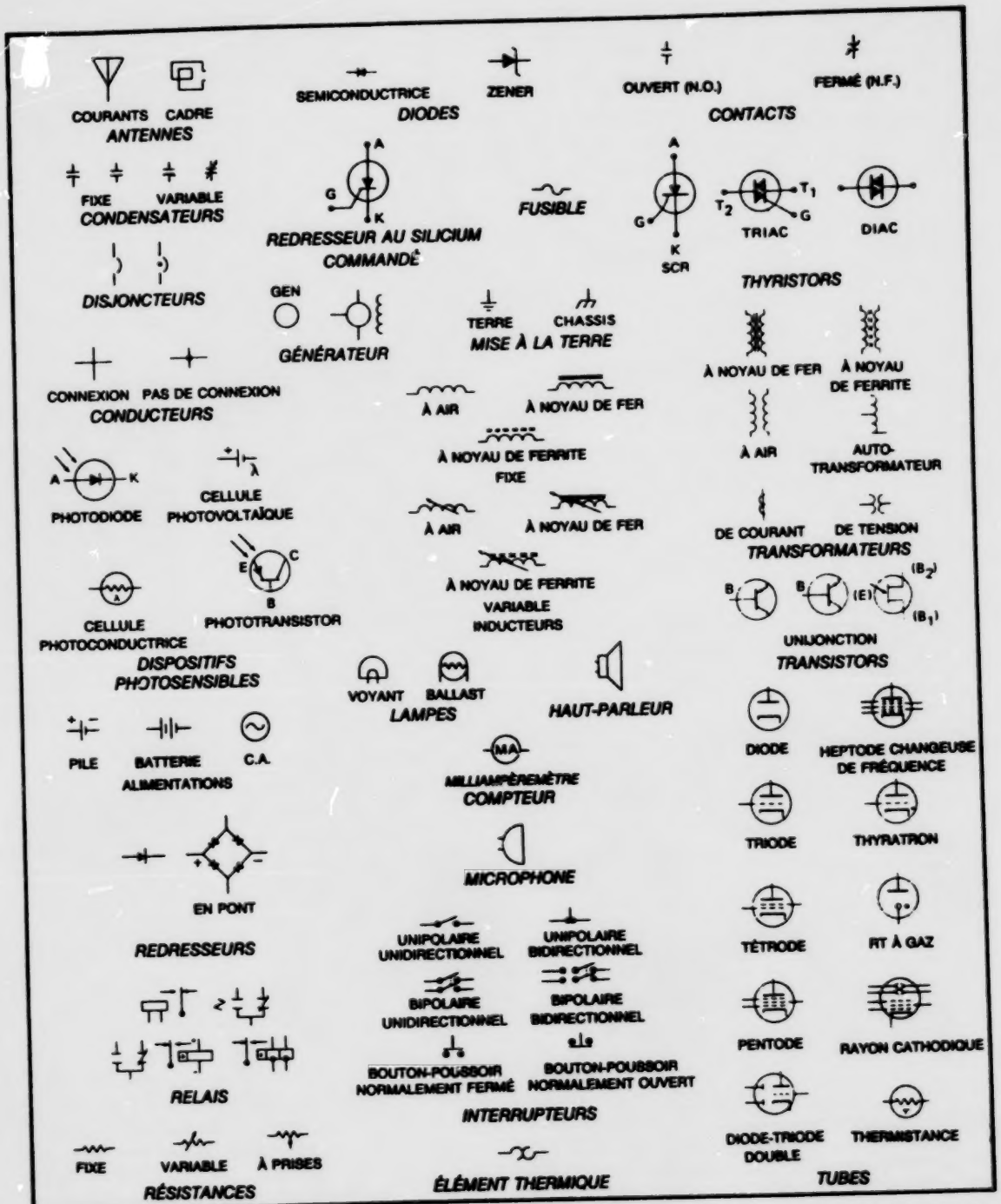


Fig. 9. Symboles courants utilisés dans les diagrammes schématiques en électronique. Certains diagrammes schématiques ne représentent pas les symboles entourés d'un cercle, tels que ceux correspondant à des transistors ou à des photodiodes.

Un bon moyen d'apprendre les symboles est de les tracer : il suffit de placer une feuille de papier pelure sur la page des symboles, puis de recopier soigneusement chaque symbole. Un autre bon moyen de les apprendre consiste à utiliser un gabarit de traçage électronique. Un gabarit est une plaque mince de matière plastique, dans laquelle sont aménagées des ouvertures dont le contour a la forme des différents symboles. Avec un crayon bien aiguisé, vous pouvez facilement tracer les symboles avec grande précision. Ces gabarits de traçage électrique et électronique sont vendus dans les magasins spécialisés, à très bon marché.

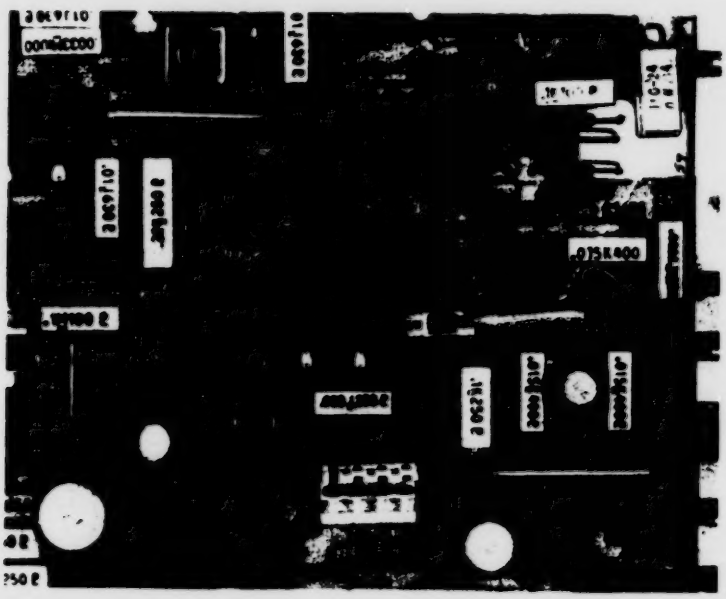
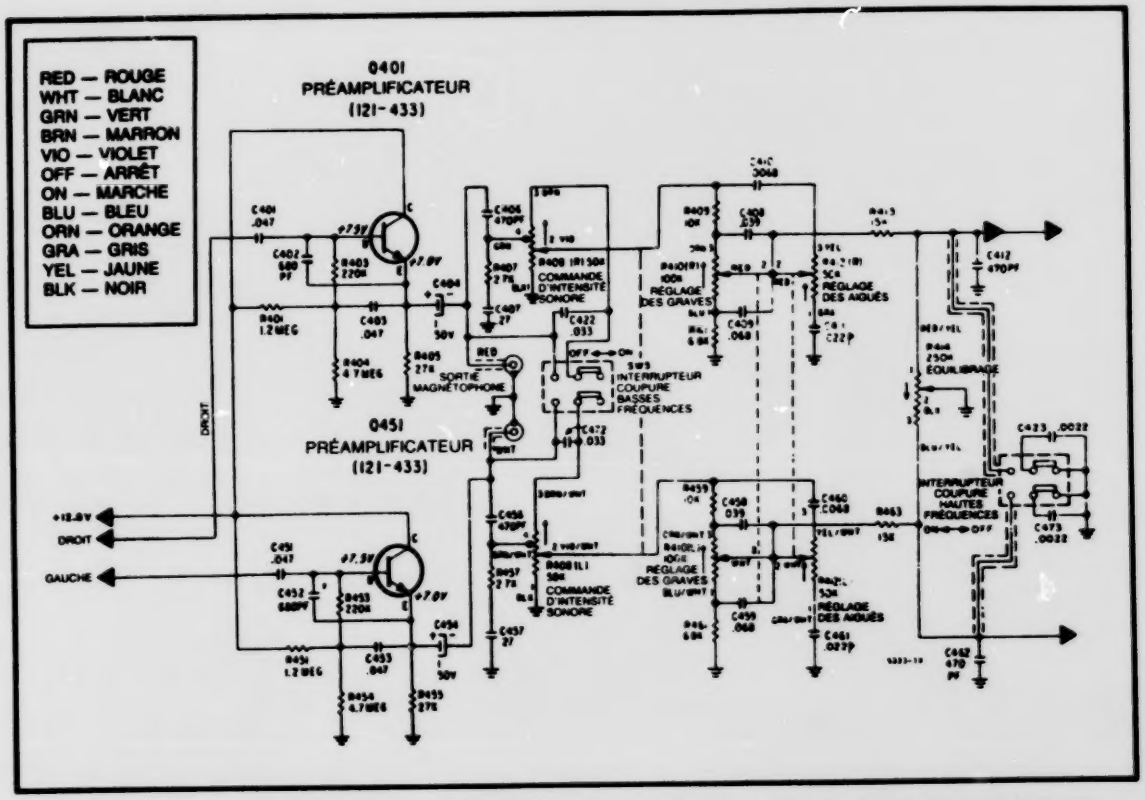


Fig. 10. Photographie représentant l'emplacement des différents composants.

La **figure 10** représente la photographie d'un circuit imprimé. Les principaux composants et commandes portent une étiquette. Par contre, un diagramme schématique (**fig. 11**) ne présente pas l'aspect réel des composants et des commandes, mais plutôt les relations électriques entre ces derniers. Le type et la fonction des composants, ainsi que la tension en différents points sont indiqués. Un diagramme schématique montre souvent les points de mesure et indique les valeurs ou les formes d'ondes sur l'écran de l'oscilloscope que vous devez obtenir si vous faites un essai en ces points.



Les diagrammes schématiques sont les schémas électriques que vous utiliserez le plus souvent. En général, ce sont eux qui renseignent le mieux sur un circuit. On peut utiliser un diagramme schématique pour analyser et expliquer le fonctionnement d'un circuit et pour le dépannage. Au besoin, un technicien d'expérience peut raccorder un circuit à partir du diagramme schématique, même s'il ne dispose pas d'un schéma de câblage à part.

Fig. 11. Diagramme schématique représentant les fonctions et les interconnexions d'un circuit électronique, à l'aide de symboles graphiques normalisés. Il n'indique aucun détail mécanique du montage de la plaque du circuit imprimé.

20 Schémas en échelle

Vous allez quelquefois entendre parler du «schéma en échelle». Les schémas en échelle, que l'on utilise souvent pour les circuits de commande, sont ainsi appelés à cause de leur présentation. La

figure 12 en donne un exemple. Un schéma en échelle est souvent incorporé dans un manuel d'instructions. Il donne la succession des opérations des différents relais et des composants du circuit. «Schéma en échelle» est le nom que l'on donne à un diagramme schématique qui présente l'interaction entre les circuits de relais.

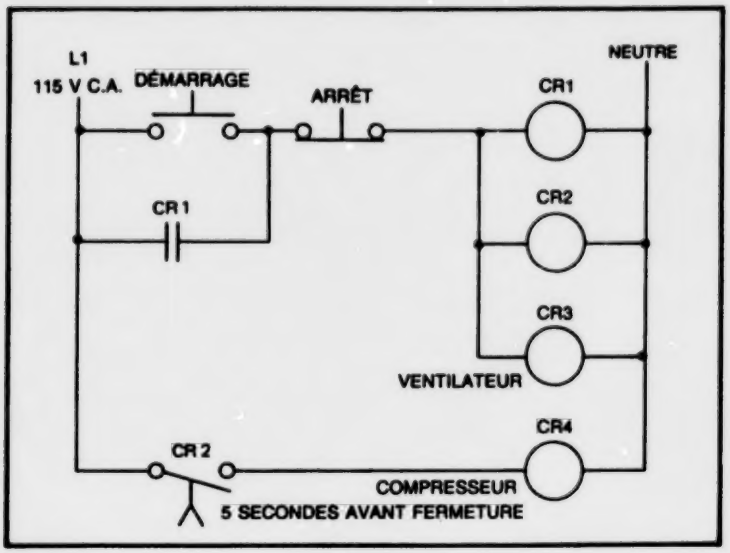


Fig. 12. Schéma en échelle expliquant le démarrage et l'arrêt d'un compresseur. Le système est conçu de façon que le ventilateur du condenseur démarre 5 secondes avant le compresseur.

21 Schémas de câblage

Il existe différents types de schémas appelés «schémas de câblage». Nous avons donné à la **figure 7** un exemple d'un schéma de câblage. Certains schémas de câblage sont en fait un croisement entre un diagramme schématique et un schéma synoptique: ils utilisent des symboles pour représenter les composants, et le trajet des fils d'un composant à un autre est représenté en réel.

22 Schémas d'interconnexion

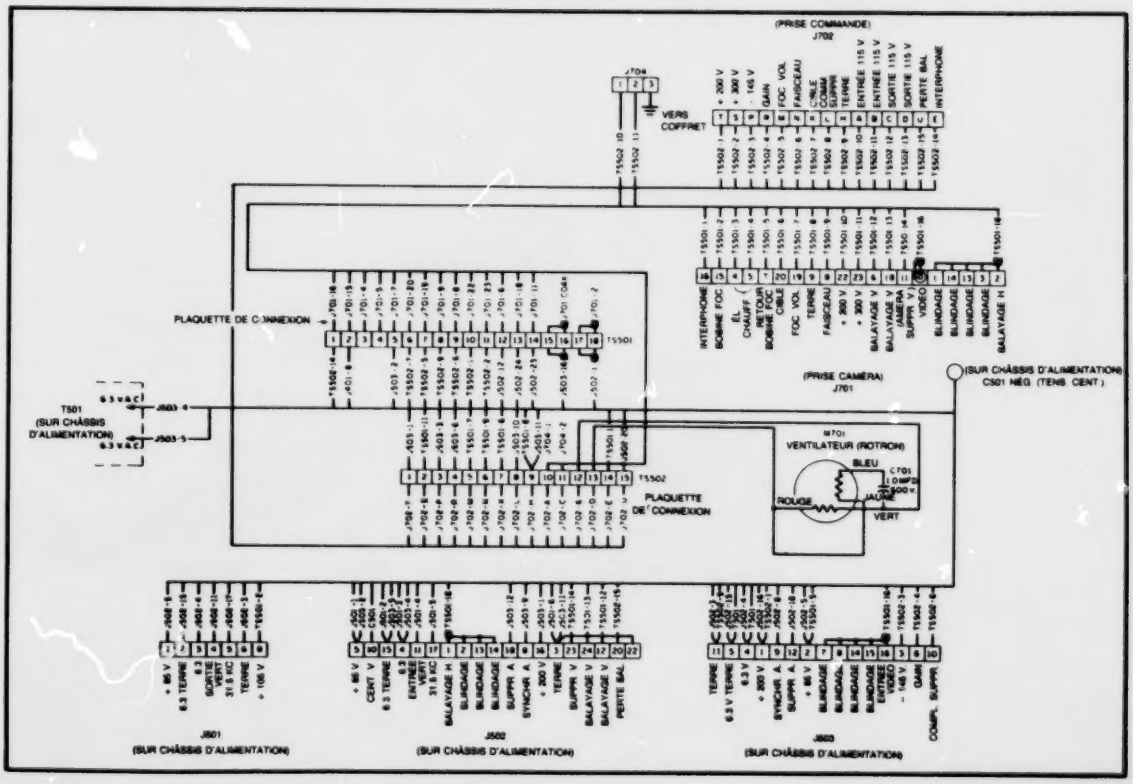
Il existe un type spécial de schéma de câblage: le schéma d'interconnexion. Ce type de schéma est utilisé quand un dispositif électronique complexe constitué de plusieurs circuits distincts doit fonctionner comme un tout. Souvent, chaque dispositif ou circuit se trouve dans un coffret distinct, et les différents circuits doivent être raccordés les uns aux autres. Les câbles sont acheminés des borniers ou des panneaux de commutation d'un appareil aux borniers et panneaux de commutation d'autres appareils.

Dans ces schémas, les fils portent une désignation abrégée indiquant le bornier et la borne correspondant au fil. Le bornier et la borne à laquelle doivent être raccordés les fils sont également identifiés.

La **figure 13** représente un schéma d'interconnexion dans lequel les borniers centraux portent les désignations TS501 et TS502. Les câbles ou fils relient les connecteurs multibroches aux borniers, et des borniers à d'autres connecteurs multibroches. Les lignes d'entrée d'un bornier indiquent le point d'origine du câble; les lignes de sortie d'un bornier indiquent la destination du câble.

Par exemple, si vous regardez le coin inférieur gauche du schéma, vous trouvez le panneau J501. La borne 1 du panneau J501 est le point de départ du J502-5. Cela signifie qu'il doit être raccordé à la borne 5 du panneau J502. Si vous suivez la ligne jusqu'au panneau J502, vous voyez que la borne 5 comprend un câble d'entrée et un câble de sortie. Le câble d'entrée porte la marque J501-1, pour

Fig. 13. Schéma de câblage d'interconnexions pour une caméra de télévision en circuit fermé.



montrer qu'il provient de la borne 1 du bornier J501. Le câble de sortie porte la marque J503-2, pour indiquer qu'il doit être connecté à la borne 2 de J503.

Certes, ces schémas de connexion peuvent sembler très compliqués. En fait, ils sont très faciles à suivre si vous prenez quelques minutes pour bien comprendre le système de désignation du bornier que vous étudiez.

23 Manuels d'instructions des fabricants

Quand on utilise des appareils de mesure électronique, ou lors des opérations d'entretien et de dépannage des équipements électroniques, l'une des sources d'information les plus précieuses est le manuel d'instructions du fabricant. Il est impératif de se familiariser avec le manuel d'instruction avant d'entreprendre toute opération sur l'équipement.

La plupart des fabricants consacrent un temps et des sommes considérables aux manuels d'instructions et d'entretien qui accompagnent leurs équipements électroniques. Ils savent que leurs clients n'achèteront pas leur équipement si ce dernier ne fonctionne pas convenablement après sa mise en place. La technique change rapidement dans le domaine de l'électronique, et les manuels d'entretien sont conçus pour expliquer les caractéristiques particulières qui rendent un équipement «spécial».

Un manuel ne peut que vous donner des informations générales et courantes sur un composant ou un instrument particulier. Un manuel sur les automobiles ne pourra jamais, par exemple, vous donner les renseignements particuliers que peut vous proposer un manuel de réparation d'un fabricant.

Il faut prendre un peu de temps pour étudier le manuel d'instructions avant de tenter de faire fonctionner un appareillage, ou encore avant de procéder à l'entretien ou au dépannage d'un dispositif électronique: vous gagnerez ainsi beaucoup de temps et sauverez un peu d'exaspération. De plus, ces «recherches» peuvent aussi vous aider à éviter des blessures graves.

24 Code de sécurité

Le code de sécurité est très important. Il faut le lire très soigneusement. Il n'est pas question de s'apercevoir de l'existence d'un risque particulier quand il est trop tard. Et c'est particulièrement vrai quand le risque est de nature non électrique. Certes, vous pouvez parfaitement avoir conscience des risques électriques dans une situation donnée, mais vous risquez, d'une manière imprévisible, de rencontrer, par exemple, une certaine radioactivité si vous commencez à tâtonner à l'intérieur de certains équipements munis de commandes électroniques.

Il faut connaître le code de sécurité de chaque manuel d'instructions. La plupart des manuels utilisent des mots comme ATTENTION, PRÉCAUTION, REMARQUE IMPORTANTE, pour alerter le lecteur. Ces mentions sont souvent encadrées, écrites en caractères gras, ou ressortent autrement du texte. Quelquefois, pour indiquer un danger on utilise un symbole du type point d'exclamation à l'intérieur d'un triangle (**fig. 14**).

Cependant ne vous basez pas seulement sur un dessin. Il faut de plus lire le texte qui l'accompagne. Par exemple, voici un texte qui pourrait accompagner la **figure 15**:

1. Couper l'alimentation électrique.
2. Débrancher le cordon d'alimentation.
3. Couper l'alimentation de secours.
4. Brancher le voltmètre sur le +5 V et mettre les connexions à la terre dans le coin inférieur droit.

Fig. 14 Ce symbole est souvent utilisé pour prévenir le lecteur de l'existence d'un risque ou d'un danger. Si vous apercevez ce symbole au voisinage d'une instruction, assurez-vous que vous avez bien lu cette instruction.

25 Déballage et instructions de montage

Vous trouverez, habituellement, dans le manuel d'instructions d'un dispositif électronique, toutes les exigences relatives à la source d'alimentation, aux fusibles, à la mise à la terre et au blindage, le tout bien regroupé. Vous trouverez souvent, décrits en détail, les essais et les réglages à effectuer au moment du montage, quelquefois aussi avec des schémas synoptiques. Dans cette section du manuel vous trouverez des instructions qui vous feront gagner du temps: comment retirer les couvercles, trouver les vis et démonter les attaches

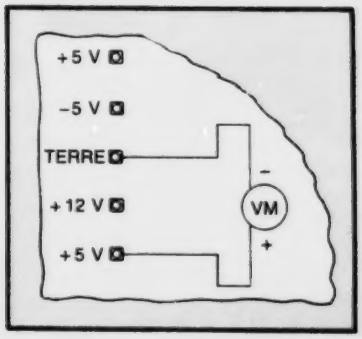


Fig. 15. Raccordements d'un voltmètre tels qu'on peut les trouver dans un manuel d'instructions du fabricant.

et autres fixations pour accéder à certaines parties de l'équipement. De même, vous trouverez certainement des schémas de câblage d'interconnexion et une étude des différentes dispositions des composants (si plusieurs dispositions sont possibles).

26 Mise à la terre et blindage

Il est important de respecter les mises à la terre déterminées par le fabricant. Une modification d'un point de mise à la terre peut créer des perturbations électriques ou des signaux indésirables. Il peut se créer des boucles de mise à la terre qui introduisent des signaux indésirables dans certaines zones critiques. De plus, une bonne mise à la terre assure la sécurité du système.

Il faut aussi respecter les normes relatives au blindage.

27 Tableaux de dépannage

Le tableau de dépannage que l'on trouve dans un manuel est en général destiné à un équipement particulier. Une technique générale de dépannage est presque certainement moins efficace que le mode opératoire mis au point par le fabricant. Ces tableaux sont en général présentés en trois colonnes intitulées: *problème, cause probable* et *solution*.

Un manuel peut, par exemple, vous demander de tester une certaine résistance en un certain point et de régler un potentiomètre si la lecture s'écarte de la valeur de consigne. Certes, vous pourriez en fin de compte corriger la situation en faisant appel à des méthodes générales de dépannage et en procédant par approximations successives; mais il est beaucoup plus efficace de suivre les recommandations du fabricant.

28 Liste des pièces de rechange et des pièces détachées

La plupart des manuels comprennent les listes des pièces de rechange, des pièces détachées et des équipements en option disponibles. Ces listes sont habituellement très précises: elles donnent les numéros de pièce, et souvent la liste est complétée par une représentation schématique ou un autre dessin dans lequel les différentes pièces sont reportées avec leur numéro d'identification. Avec le numéro de pièce

complet, sa désignation appropriée et d'autres informations concernant les commandes, la liste des pièces permet de passer celles-ci rapidement, facilement et d'une manière précise.

Rappelez-vous que le fabricant choisit une pièce donnée après une conception et des recherches approfondies. *Utilisez toujours la pièce appropriée*. Par exemple, si vous devez remplacer une résistance de 47 kΩ, il ne faut pas prendre n'importe quelle résistance de 47 kΩ: la pièce de rechange doit avoir la même puissance nominale et les mêmes tolérances que la résistance à remplacer.

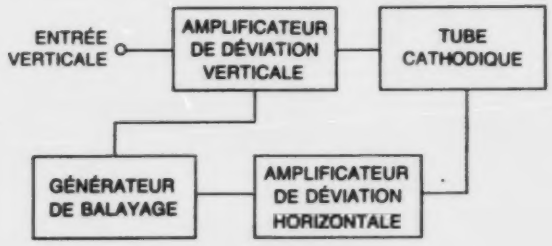
Rappelez-vous que le manuel d'instructions du fabricant a été rédigé pour vous permettre d'effectuer votre travail d'une manière plus sûre et plus efficace. Tirez avantage de cette aide.

Exercice de contrôle 2

Il est temps de faire une deuxième pause pour vérifier vos connaissances sur les schémas électroniques. Comparez vos réponses aux nôtres et, si nécessaire, révisez les sections citées en référence.

Vos réponses

1. Le schéma ci-dessous est un _____ .



1. _____

2. Vous appelleriez un dessin en trois dimensions une _____ . Son rôle principal est de montrer _____ .

2. _____

Dans la colonne de droite, écrire le nom du composant représenté par le symbole de gauche.

3. *a.*

b.

c.

d.

e.

3. *a.* _____
b. _____
c. _____
d. _____
e. _____

4. Pour trouver des informations particulières sur un appareillage de vérification électronique, il faut se référer à (au) _____ .

4. _____

5. Quelles sont les trois informations données dans un tableau de dépannage?

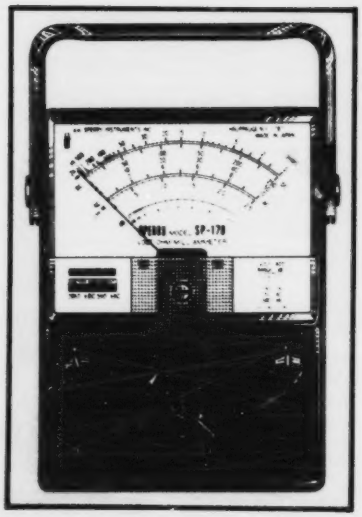
5. _____

Réponses aux questions de l'exercice de contrôle 2

1. Diagramme synoptique — Section 17, fig. 4
2. Vue éclatée — la position relative de chaque composant — Section 18
3. _a_ Transistor
   _b_ Thyratron
   _c_ Photodiode
   _d_ Diode Zener
   _e_ SCR — Section 19, fig. 9
4. Manuel d'instructions du fabricant — Section 23
5. Problème — Cause probable — Solution — Section 27

Courtoisie de Triplett Corporation

Fig. 16. Multimètre à affichage numérique. Il n'est pas nécessaire d'interpréter la position d'une aiguille sur une échelle: la valeur numérique de la tension, du courant ou de la résistance est directement affichée.



Courtoisie de A.W. Sperry Instruments Inc.

Fig. 17. Certains appareils de mesure font fonction de voltmètre, d'ampèremètre et d'ohmmètre: il s'agit de *multimètres*.

Sélection des appareillages d'essai

29 Lecture de l'échelle des appareils de mesure

À moins que votre appareil de mesure ne possède un affichage numérique qui donne directement la valeur de la grandeur mesurée, vous devrez interpréter la position d'une aiguille sur une échelle pour obtenir la valeur numérique recherchée. La **figure 16** donne un exemple d'affichage numérique sur un multimètre.

Le multimètre de la **figure 17** comprend cinq échelles distinctes de deux types: linéaire et logarithmique. Sur un voltmètre électronique, il peut y avoir un troisième type d'échelle, sur laquelle le zéro est hors de la graduation normale (à zéro supprimé). Ce type de multimètre est dit analogique car il faut interpréter la position de l'aiguille sur l'échelle pour obtenir la valeur numérique.

Une échelle linéaire telle que celle présentée à la **figure 18** comprend des graduations équidistantes comme celles d'une règle. C'est là le type d'échelle le plus facile à lire. Même si l'aiguille se trouve entre deux graduations, il est assez facile d'estimer la valeur exacte. Si l'échelle est suffisamment grande, on peut même estimer, avec assez de précision les dixièmes d'une graduation. Les échelles en courant continu et en courant alternatif de la figure 17 sont des échelles linéaires.

L'échelle des ohms et l'échelle des décibels sont des échelles logarithmiques. Si l'on prend comme exemple l'échelle des ohms de la **figure 19**, on voit qu'il y a une différence numérique de 2 entre 0 et 2 et une différence numérique de 3 entre 2 et 5. Et pourtant, la distance sur l'échelle est approximativement la même. De même, à l'extrême gauche de l'échelle, une très faible distance correspond à une très grande valeur numérique. Une estimation basée sur la position de l'aiguille aura donc une précision d'autant plus faible que l'aiguille se trouve plus à gauche.

Sur une échelle à zéro supprimé, il n'y a pas de zéro du tout. Une échelle peut se lire 0,001 à 0,01; la suivante de 0,01 à 0,1; et la troisième de 0,1 à 1,0; etc.

Quand vous lisez une valeur sur une échelle, il faut vous assurer que vous utilisez le multiplicateur indiqué sur le sélecteur de gamme. Par exemple, si l'aiguille indique 6,2 V continus quand la gamme est réglée à 10 V, il faut lire 6,2 V. Mais si le sélecteur de gamme est sur 100 V, il faut lire 62 V.

30 Précision

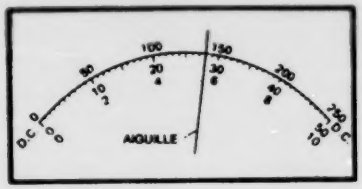


Fig. 18. L'échelle est linéaire, c'est-à-dire que les graduations sont équidistantes.

Un appareil de mesure est généralement plus précis dans la moitié supérieure de sa gamme. Pour les valeurs très faibles, sa précision est moins bonne. Dans le quart supérieur de sa gamme (voisinage de la déviation maximale), le pourcentage d'erreur est plus faible, car la précision se mesure en pourcentage d'erreur basé sur la valeur maximale de l'échelle utilisée.

Lorsque l'on change de gamme, il faut partir du réglage le plus élevé et passer aux gammes inférieures, gamme par gamme. Il convient alors de s'arrêter quand l'aiguille se trouve dans la partie supérieure de l'échelle: cette façon de faire protège l'appareil de mesure contre une détérioration provoquée par un dépassement de la déviation maximale. Il faut utiliser cette technique pour toutes les autres mesures. Elle évite un «blocage» de l'instrument, l'aiguille se trouvant largement au-delà de la valeur maximale de l'échelle, ce qui risquerait de l'endommager en altérant sa précision.

Répétons: **la précision d'un appareil se mesure en pourcentage d'erreur basé sur la valeur maximale de l'échelle utilisée**. Prenons un voltmètre de 0-10 V de précision ± 2% (pour cent) à 10 V, et supposons qu'on lise exactement 10 V. Cela signifie que la valeur réelle est comprise entre 9,98 V et 10,02 V. Mais 2% de 10 V est un pourcentage d'erreur très faible alors que, si la valeur lue est de 1 V, l'erreur est d'environ 20%, la valeur réelle étant alors comprise entre 0,8 et 1,2. Il ne s'agit pas d'un résultat très précis. Si vous devez mesurer une quantité de l'ordre de 1 V, il faut donc, ou changer la gamme ou passer à une gamme inférieure, ou utiliser un autre appareil.

Pour déterminer la précision d'un appareil de mesure particulier, on recommande de se reporter aux spécifications techniques se trouvant dans le manuel d'instructions du fabricant. Comme nous l'avons dit, cette précision est donnée en pourcentage de la déviation maximale de l'échelle.

31 Estimation des lectures

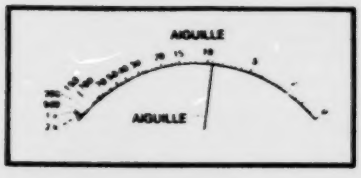


Fig. 19. L'échelle des ohms, sur un ohmmètre, n'est pas linéaire. Vous remarquerez que les graduations *ne sont pas* équidistantes.

Si vous devez estimer une lecture alors que l'aiguille s'arrête entre deux graduations de l'échelle, ne soyez pas trop sûr de vous. Il est risqué de vouloir deviner la position de l'aiguille vers l'extrémité inférieure d'une échelle logarithmique : cela ne donne qu'une estimation très grossière. Ne faites pas l'erreur d'en tenir compte comme lecture de grande précision.

32 Sensibilité

Certains appareils de mesure sont beaucoup plus sensibles que d'autres. **Pour avoir une indication générale de la sensibilité d'un appareil de mesure, il suffit de vérifier les graduations de l'échelle**: si elles correspondent à de très légers accroissements, l'appareil est bien évidemment plus sensible qu'un autre dont les graduations représentent de plus grandes différences numériques.

Tout comme un pèse-lettre est plus sensible qu'un pèse-personne, certains appareils de mesure sont beaucoup plus sensibles que d'autres. Si un appareil de mesure est très sensible, il doit disposer d'un amortissement interne. Sinon, l'aiguille oscille continuellement au lieu de s'arrêter en un point particulier. Mais cet amortissement ne sert à rien si l'instrument utilisé est trop sensible pour la grandeur mesurée.

Avant de lire la valeur sur l'échelle, il faut attendre que l'aiguille s'arrête. Avec certains appareils, il faut donner de légers coups avec les doigts pour que l'aiguille arrive à sa position définitive. Cette façon de faire supprime le frottement interne de l'équipage mobile de l'appareil.

En fait, quand nous parlons d'un «appareil de mesure» électronique, il s'agit toujours d'un appareil indicateur *combiné* à un circuit électronique. Par exemple, un voltmètre électronique est un appareil de mesure muni d'un amplificateur électronique. On peut ainsi minimiser l'effet de charge (qui sera étudié plus tard), et augmenter la sensibilité de l'appareil.

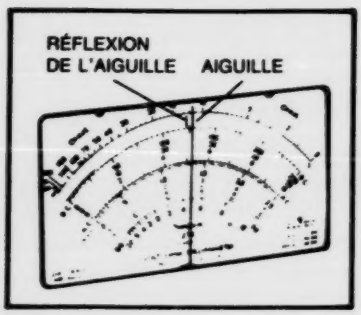


Fig. 20. Pour éviter l'erreur de parallaxe, regardez l'échelle perpendiculairement à l'appareil.

33 Erreur de parallaxe

Lorsque vous lisez un appareil de mesure, vous devez toujours vous trouver vis-à-vis de l'axe de l'aiguille. Si l'oeil n'est pas perpendiculaire à l'échelle du cadran, la lecture sera fausse. Sur la **figure 20** par exemple, vous liriez 11,5 Ω au lieu de la valeur correcte 12,5 Ω. C'est ce qu'on appelle l'erreur de parallaxe. Peut-être avez-vous déjà rencontré ce phénomène en conduisant une voiture, quand votre passager se plaignait de votre vitesse. Ce passager fait une lecture incorrecte du compteur de vitesse, car ce dernier, comme tous les appareils de mesure, est destiné à être vu de face.

Dans certains appareils, comme le voltmètre portatif présenté à la **figure 21**, un miroir est placé derrière l'aiguille et réfléchit l'image de celle-ci. Pour que la mesure soit correcte, l'oeil doit être placé de telle sorte que l'image de l'aiguille dans le miroir se confonde avec l'aiguille elle-même. Dans le cas contraire, il y a erreur de parallaxe et la lecture est fausse.

Malheureusement, la plupart des appareils de mesure n'ont pas de miroir, pour vous prévenir de cette erreur de lecture. Rappelez-vous qu'il faut toujours se placer perpendiculairement à l'échelle si l'on veut supprimer l'erreur de parallaxe.

34 Effet de charge

Lorsque l'on utilise un appareil de mesure, ce dernier ne doit en aucune façon perturber la grandeur mesurée. Sinon, il y a erreur de mesure.

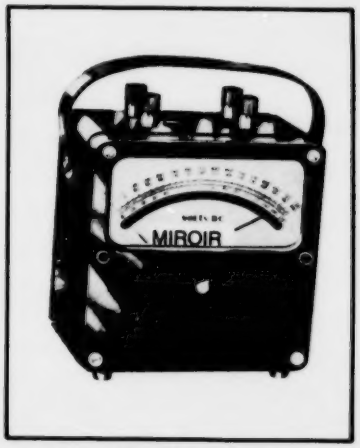
Par exemple, lors de la mesure d'une tension, la résistance interne de l'appareil utilisé doit être suffisamment élevée pour ne pas «charger» le circuit. Comme un voltmètre tire le courant d'un circuit, il y a une chûte de potentiel aux bornes de l'appareil si la résistance de ce dernier est trop faible. La lecture est d'autant moins précise que cette différence de potentiel est plus élevée.

Dans la pratique, il y a toujours une *certaine* résistance dans l'appareil, mais la chûte de potentiel doit être aussi faible que possible. Si la résistance de l'appareil de mesure est beaucoup plus élevée que celle de la charge, l'effet de la chute de tension est négligeable.

Rappelez-vous la loi d'Ohm: la tension est égale au courant multiplié par la résistance. Rappelez-vous aussi que la résistance totale dans un circuit est égale à la chute de tension aux bornes de ce circuit, divisée par l'intensité totale du circuit. Si deux résistances sont branchées en parallèle, la résistance totale est donnée par la formule suivante:

$$R_T = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$

Supposons que nous voulions mesurer la tension d'un circuit dans lequel la résistance de la charge est de 1 000 Ω (ou 1 kΩ). Si



Courtoisie de Weston Instruments Inc.

Fig. 21. Ce voltmètre portatif est muni d'un miroir. Pour effectuer une lecture, votre oeil doit se trouver vis-à-vis de l'axe de l'aiguille, sinon vous voyez l'image de l'aiguille dans le miroir. Changez de position jusqu'à ce que l'aiguille et son image coïncident.

la résistance de l'appareil est elle-même de 1 000 Ω, la résistance totale (c'est-à-dire des deux résistances en parallèle) est de 500 Ω:

$$R_T = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} = \frac{1000 \times 1000}{2000} = 500\ \Omega$$

Si on avait utilisé un appareil dont la résistance était de 50 000 Ω, cette résistance n'aurait eu qu'un effet négligeable:

$$\frac{1000 \times 50\,000}{51\,000} = \frac{50\,000\,000}{51\,000} = 999{,}8\ \Omega$$

(Ces 999,8 Ω sont très proches de 1 000 Ω!)

En général, si la résistance de l'appareil est au moins 20 fois supérieure à la résistance de la charge, l'effet de charge est négligeable.

Par ailleurs, si l'on veut mesurer une intensité, l'ampèremètre doit présenter une très *faible* résistance, sinon il charge le circuit en diminuant l'intensité. Comme nous l'avons dit précédemment à propos des calculs relatifs à la loi d'Ohm, l'intensité du courant diminue quand la tension reste constante, et la résistance du circuit augmente.

L'effet de charge influe donc sur les mesures effectuées par l'appareil utilisé. Cet effet de charge n'est jamais nul. L'important, c'est de le réduire au minimum.

Si on intercale un amplificateur électronique entre l'appareil de mesure et le circuit, on a un appareil de mesure électronique qui minimise l'effet de charge et augmente la sensibilité de l'appareil.

La résistance d'un appareil de mesure s'exprime en ohms par volt (Ω/V). Ainsi, si la résistance nominale d'un voltmètre de 15 V est de 200 Ω/V, sa résistance interne sera de 200 × 15 = 3 000 Ω. Si la résistance interne de ce même appareil est de 1 000 Ω/V, cette résistance passe à 15 000 Ω. Une résistance nominale de 20 kΩ/V sur un appareil de 15 V indique que, lorsque la déviation est maximale, la résistance interne de l'appareil est de 300 000 Ω, soit 3×10^5 Ω.

35 Valeurs de crête[1] et valeurs efficaces

Vous avez appris dans vos cours d'électricité de base qu'un courant alternatif change périodiquement de direction. L'intensité passe de zéro à une valeur maximale positive, puis redescend à zéro. Elle aug-

1. L'expression «de pointe» rencontrée dans la littérature scientifique est synonyme de l'expression «de crête» (c.-à-d. «maximale»).

mente de nouveau, dans l'autre sens, jusqu'à un maximum négatif avant de revenir à zéro. Cette évolution, de zéro à zéro, est appelée *cycle*. Le graphique des valeurs instantanées d'un cycle complet est appelé sinusoïde ou onde sinusoïdale.

La valeur *maximale* ou de *crête*, est la valeur instantanée la plus élevée de l'intensité ou de la tension, atteinte dans un sens ou dans l'autre au cours d'un cycle. Dans chaque cycle, il y a deux valeurs maximales: une valeur maximale positive et une valeur maximale négative. On voit sur la **figure 22**, que la *valeur crête-à-crête* est égale à deux fois la valeur de pointe d'un courant ou d'une tension sinusoïdale.

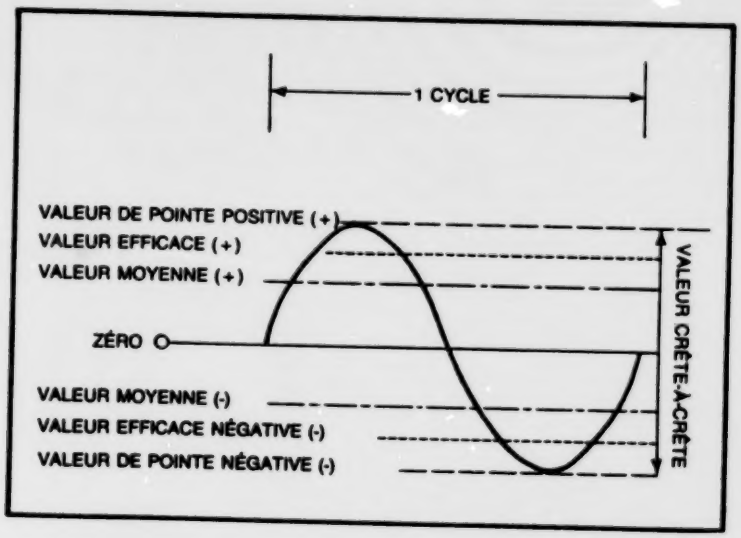


Fig. 22. Onde sinusoïdale et valeurs caractéristiques.

La *valeur moyenne* s'obtient en calculant la moyenne de toutes les valeurs instantanées pendant une alternance (une alternance correspond à un demi-cycle). On utilise un demi-cycle pour calculer la moyenne parce que le cycle complet contient des valeurs négatives, de sorte que la moyenne sur un cycle complet donnerait un résultat égal à zéro.

De nombreux appareils électroniques répondent à la valeur moyenne. Mais ils sont étalonnés en *valeur efficace*. La *valeur efficace* d'un courant ou d'une tension alternative est la valeur qui donnerait le même effet thermique qu'un courant ou une tension continus de même valeur.

Comme le courant alternatif varie sans cesse, on ne peut le mesurer directement, comme un courant continu. Le moyen le plus fiable pour mesurer l'intensité d'un courant alternatif consiste à mesurer

la chaleur produite. **Si un courant alternatif donne la même quantité de chaleur qu'un certain courant continu, sa valeur efficace est égale à l'intensité du courant continu.**

On calcule la valeur efficace à partir de la valeur maximale. Sur les appareils électroniques, cette valeur efficace est souvent identifiée par les lettres RMS. Cette abréviation RMS correspond à «root mean square», c'est-à-dire la racine carrée de la moyenne de tous les carrés. Cela exigerait des calculs compliqués qui sortent du cadre de ce cours. L'important, c'est de se rappeler que la valeur RMS que l'on trouve sur certains appareils est tout simplement la valeur efficace.

Comme les multimètres et les voltmètres électroniques utilisent des ondes sinusoïdales, ils ne sont pas précis pour les ondes non sinusoïdales. Si vous devez mesurer une onde de ce genre, il convient de faire appel à un oscilloscope, ou à un instrument capable de mesurer les valeurs efficaces vraies (True RMS).

36 Essais à basses fréquences et hautes fréquences

On peut utiliser un voltmètre électronique ou un oscilloscope pour vérifier la tension basse fréquence (B.F.) et haute fréquence (H.F.). **Ne JAMAIS utiliser un VOM pour les basses fréquences et hautes fréquences.** On utilise une sonde H.F. spéciale avec un voltmètre électronique à redresseur incorporé. Reportez-vous au manuel d'instructions pour des détails plus précis sur les essais utilisant la sonde H.F. spéciale.

Un générateur de fréquence étalon est un oscillateur qui fournit des fréquences de référence. En général, ces fréquences se trouvent à 100 kHz (kilohertz) les unes des autres, mais leur distance réciproque peut être plus petite ou plus grande.

Un générateur de fréquence se combine à un voltmètre électronique ou un oscilloscope pour vérifier les fréquences. Un générateur de fréquence est un oscillateur à fréquence variable, étalonné; même si nous expliquerons dans un autre cours les méthodes particulières de vérification des fréquences, voici un aperçu de la manière dont on procède.

Le voltmètre électronique ou l'oscilloscope est branché entre le générateur de fréquence et le signal à vérifier; le générateur est «accordé» progressivement jusqu'à la fréquence à vérifier. Sur le voltmètre électronique , lorsque les fréquences sont très différentes, l'aiguille vibre rapidement et ne recouvre qu'une faible partie de l'échelle. Au fur et à mesure que l'accord est plus serré, l'aiguille se déplace plus lentement, pour balayer largement toute l'échelle.

Quand les fréquences «coïncident», l'aiguille s'arrête à zéro (ou à une autre valeur proche de zéro), et on peut lire la valeur voulue sur le cadran du générateur de fréquence. Sur un oscilloscope, l'accord des fréquences se fait jusqu'à l'apparition d'un cercle ou d'une ellipse sur l'écran. On lit alors la valeur sur le cadran du générateur de fréquence.

37 Appareils de mesure étalons

Un appareil de mesure étalon sert à étalonner d'autres appareils de mesure. Parmi les appareils étalons, il existe des ohmmètres, des voltmètres, des ampèremètres, des wattmètres, des cos phi mètre, des fréquencemètres hautes fréquences et des cellules à tension primaire. C'est le National Bureau of Standards[1] qui a pour rôle d'homologuer et de certifier la précision des appareils de mesure étalons et des autres équipements d'essai. Les appareils de mesure étalons sont périodiquement renvoyés au fabricant (habituellement tous les ans), pour un nouvel étalonnage.

Ces appareils de mesure ne doivent PAS être utilisés pour les contrôles de routine, mais seulement comme étalons pour l'étalonnage d'autres instruments.

38 Étalons de temps et de fréquence

Comme nous l'avons dit, un générateur de fréquence étalon produit des fréquences fixes précises pour la vérification de fréquence. L'étalonnage de ces appareils est comparé avec les signaux émis par la WWV, la station émettrice du National Bureau of Standards à Washington, aux États-Unis. Cette station émet des signaux de temps et des signaux radio qui permettent un contrôle rigoureux du temps et des fréquences. Nous étudierons dans un autre cours la méthode permettant de vérifier et de régler l'étalon de fréquence.

39 Manipulation de l'appareillage d'essai

Rappelez-vous qu'il faut choisir un appareil qui peut mesurer ce que vous avez à mesurer. Cela peut paraître élémentaire, mais on oublie souvent cette règle lors du choix d'un appareil d'essai. Assurez-vous que l'appareil peut effectuer directement les essais ou vous donner les informations vous permettant de faire une mesure indirecte.

1. Au Canada, se référer à l'organisme approprié.

Assurez-vous également que l'appareil est du type approprié pour la mesure à effectuer: courant alternatif, courant continu, ou hautes fréquences. Quand on utilise un multimètre, il faut s'assurer que le sélecteur se trouve sur la bonne position, avant de le brancher dans le circuit. On peut endommager un appareil de mesure si son sélecteur est changé de position alors qu'il mesure un circuit sous tension. Assurez-vous en outre que les fils de raccordement sont branchés aux prises appropriées.

Assurez-vous que la gamme utilisée convient à la grandeur mesurée. Si vous pensez que la tension risque d'être supérieure à 100 V, n'utilisez pas un voltmètre de 100 V. De même, lorsque vous vous servez d'un multimètre, il faut commencer par la gamme la plus élevée, pour descendre petit à petit. Si l'aiguille dépasse l'échelle, vous risquez de la plier, voire de la briser, et par conséquent de réduire la précision de l'appareil.

L'appareil de mesure doit être placé dans la position pour laquelle il a été prévu. Sauf si le manuel d'instructions du fabricant indique expressément qu'on peut l'utiliser en toute position, il convient de le placer horizontalement s'il est destiné à une utilisation horizontale, et verticalement s'il est destiné à une utilisation verticale. Tout autre mode de mise en place peut altérer la précision de lecture.

Il faut protéger l'appareillage de vérification contre les poussières, l'humidité, la chaleur excessive, les fumées corrosives, et toutes autres conditions susceptibles de l'endommager. Manipulez les appareils de mesure avec soin; évitez de les secouer ou de les faire tomber.

Les ampèremètres à courant continu doivent être court-circuités avant leur rangement. Si le sélecteur de gamme comporte une position court-circuit, le mettre dans cette position s'il doit être transporté ou entreposé. De même, si l'appareil est muni d'un verrou de blocage de l'aiguille, bloquez bien l'aiguille en position avant le transport ou l'entreposage.

40 Quelques règles de sécurité

Ne branchez jamais un appareil de mesure dans un circuit sous tension. Coupez l'alimentation, effectuez les raccordements à l'appareil de mesure et au circuit, et ensuite seulement mettre l'ensemble sous tension pour lire le cadran.

Chaque fois que cela est possible, raccordez d'abord la partie du circuit qui est mise à la terre (partie la plus basse). De même, c'est cette connexion qu'il faut enlever en dernier. Si vous utilisez des sondes, placez d'abord la pointe de la sonde appropriée sur le côté du circuit mis à la terre, et enlevez-la en dernier.

Il est dangereux de manipuler en même temps les deux sondes d'une source à haute tension. Fixez une pince crocodile au fil de terre et raccordez-le au point de mise à la terre. Puis utilisez la sonde libre pour le côté positif ou sous tension, *en gardant une main dans votre poche*. Si, pour une *très bonne* raison, vous ne pouvez éviter de tenir les deux sondes à la fois, assurez-vous que l'isolant des poignées de sondes et des fils est en très bon état.

Lorsque vous utilisez des sondes, gardez vos doigts sur l'isolant, le plus loin possible de la pointe métallique.

Faites très attention quand vous utilisez un appareil de mesure ou un autre appareil d'essai au-dessus du sol.

Et surtout, faites très attention à ce que vous faites! Lorsque vous vous servez d'appareils de mesure, vous travaillez sur des circuits sous tension. Comme les appareils de mesure sont faciles à utiliser, leur usage devient vite familier et il est très facile de devenir négligent, ce qui peut avoir des conséquences déplaisantes.

Assurez-vous de bien comprendre tout ce que vous faites, *avant* de le faire. En cas de doute, n'essayez jamais de travailler par approximations successives. Demandez l'aide d'un spécialiste plus familier que vous avec l'appareil et le mode opératoire. Si vous n'êtes pas absolument sûr de ce que vous faites, ne le faites pas. Demandez l'aide de quelqu'un d'autre. Cachez votre orgueil et restez en vie!

Exercice de contrôle 3

Avant de répondre au questionnaire personnel, prenez quelques minutes pour revoir quelques points-clés sur la sélection des appareils d'essai. Comparez vos réponses aux nôtres, et, si nécessaire, révisez les sections citées en référence.

Vos réponses

1. Sur un appareil de mesure, une échelle dont les graduations sont équidistantes est une échelle _____. 1. _____

2. La lecture la plus précise d'un voltmètre se trouve: 2. _____

   A. au milieu de l'échelle.
   B. vers la gauche de l'échelle.
   C. au voisinage de la déviation maximale.
   D. à gauche du centre de l'échelle.

3. Vous pouvez avoir une idée de la sensibilité d'un appareil de mesure en regardant le(s) _____ de l'échelle. 3. _____

4. Vrai ou faux? Pour supprimer l'erreur de parallaxe, il faut lire l'appareil de mesure de côté. 4. Vrai Faux
   (Encerclez la bonne réponse)

5. Quel est l'autre appellation pour la valeur efficace d'une tension alternative? 5. _____

Réponses aux questions de l'exercice de contrôle 3

1. linéaire Section 29 4. Faux Section 33
2. C au voisinage de la déviation maximale. Section 30 (Il faut toujours regarder le cadran d'un appareil de mesure de face.) Section 32
3. graduations
5. RMS (root mean square) Section 35

Annexe 1

Notation scientifique

Lorsqu'on travaille sur des nombres très grands ou très petits, il est souvent utile de faire appel aux exposants. Toute quantité numérique peut être exprimée avec un exposant par un nombre compris entre 1 et 9,99999 multiplié par 10 à une certaine puissance. La quantité numérique conprenant la virgule est appelée *mantisse*; la puissance de dix est appelée *exposant*.

Prenons l'exemple du coulomb pour démontrer l'utilité des exposants. Un coulomb représente la charge produite par 6 280 000 000 000 000 000 d'électrons. En utilisant un exposant, ce nombre s'écrit $6{,}28 \times 10^{18}$ électrons. Vous voyez que cette notation est bien plus facile à lire.

Lorsqu'on travaille sur des grandeurs électroniques, il est particulièrement utile d'employer la notation scientifique, puisque les unités sont toutes dans le système SI, c'est-à-dire qu'elles sont déjà basées sur des puissances de dix.

La notation scientifique suit les mêmes règles que les exposants ordinaires. Vous vous rappelez que x^2 signifie x fois x; x^3 signifie x fois x fois x et ainsi de suite. Par exemple:

$$2^2 = 2 \times 2 = 4$$

$$2^3 = 2 \times 2 \times = 8$$

Si on vous demande de multiplier 2 par 2^3, vous comprenez bien qu'on vous demande de multiplier 2×8. Vous avez donc $2 \times 2^3 = 16$.

La notation scientifique peut sembler différente, et pourtant il s'agit de la même chose. Par exemple, $3{,}15 \times 10^3$ veut dire qu'on vous demande de multiplier 3,15 par 10^3. Comme $10^3 = 10 \times 10 \times 10 = 1\,000$, $3{,}15 \times 10^3 = 3{,}15 \times 1\,000$, c'est-à-dire 3 150.

Supposons maintenant qu'au lieu d'avoir $3{,}15 \times 10^3$, vous ayez $3{,}15 \times 10^{-3}$. Rappelez-vous vos cours précédents: un exposant négatif signifie qu'il faut élever à la puissance l' *inverse* de la base. À l'aide de symboles, vous avez alors:

$$\alpha^{-x} = \frac{1}{\alpha^x}$$

Ainsi donc $3{,}15 \times 10^{-3}$ signifie que l'on vous demande de multiplier 3,15 par $(\frac{1}{10} \times \frac{1}{10} \times \frac{1}{10})$.

Rappelez-vous les règles: cela donne 1/1000. Donc: $3{,}15 \times 10^{-3} = 0{,}00315$.

Remarque: ne confondez pas $-3{,}15 \times 10^3$ avec $3{,}15 \times 10^{-3}$ ou $-3{,}15 \times 10^{-3}$. En effet, ces expressions sont différentes:

$$3{,}15 \times 10^{-3} = 3{,}15 \times 0{,}001 = 0{,}00315$$
$$-3{,}15 \times 10^{-3} = -3{,}15 \times 0{,}001 = -0{,}00315$$
mais $$-3{,}15 \times 10^{3} = -3{,}15 \times 1\,000 = -3\,150$$

Maintenant que vous savez comment on convertit un nombre d'une notation conventionnelle en notation scientifique, revoyons quelques-uns des calculs à l'aide de nombres écrits en notation scientifique.

Addition et soustraction

Le point important à retenir lors de l'addition ou de la soustraction de nombres écrits en notation scientifique, est que les *exposants doivent être les mêmes*.

	Notation scientifique		Notation conventionnelle
Si vous additionnez	21×10^2	=	2 100
et	3×10^2	=	300
vous obtenez	24×10^2	=	2 400

Mais avant d'additionner 21×10^2 et, disons 3×10^3, il faut d'abord convertir 3×10^3 à une valeur numérique multipliée par 10^2 ou 21×10^2 à une valeur numérique multipliée par 10^3, de façon que les exposants soient les mêmes. Si 21×10^2 égale $21 \times 10 \times 10$, on peut aussi l'écrire $2{,}1 \times 10 \times 10 \times 10$. Ces deux nombres valent 2 100 en notation conventionnelle.

Mais supposons que vous décidiez de changer le nombre 3×10^3 en un certain nombre multiplié par 10^2. Quel nombre doit-on multiplier par 1 000 pour obtenir 300?

$$21 \times 10^2 = 2{,}1 \times 10^3 = 2\,100$$
$$3 \times 10^2 = 0{,}3 \times 10^3 = 300$$
$$24 \times 10^2 = 2{,}4 \times 10^3 = 2\,400$$

Multiplication et division

Pour multiplier ou diviser des nombres écrits en notation scientifique, il faut multiplier (ou diviser) les mantisses et *additionner* (*ou soustraire*) les *exposants*. Exemple:

Pour multiplier: 21×10^2 par $3 \times 10^3 = 63 \times 10^5$

En notation conventionnelle, on obtient $2\,100 \times 3\,000 = 6\,300\,000$

Pour diviser: 21×10^2 par $3 \times 10^3 = 7 \times 10^{-1}$

(On a obtenu l'exposant -1 en soustrayant l'exposant 3 de l'exposant 2.) En notation conventionnelle, on écrit 2 100 divisé par 3 000 ou 0,7.

Élévation à une puissance d'un nombre écrit en notation scientifique

Il existe une autre règle dont vous pouvez avoir besoin : il s'agit de l'élévation, à une certaine puissance, d'un nombre écrit en notation scientifique.

Imaginons que vous vouliez élever au cube (c'est-à-dire à la puissance 3) la quantité 3×10^2. La règle est la suivante: il faut élever la *mantisse à la puissance et multiplier l'exposant par la puissance*. Ainsi:

$$(3 \times 10^2)^3 = 27 \times 10^6$$

C'est-à-dire

$$(3 \times 3 \times 3) \times (10^2 \times 10^2 \times 10^2)$$

Reprenez ce calcul. Vous devez obtenir 27 000 000, c'est-à-dire 27×10^6.

Annexe 2

Calculatrices et ordinateurs

Dans certaines calculatrices et dans la plupart des ordinateurs, quand vous introduisez un très grand ou un très petit nombre, il apparaît à l'écran un nombre vraiment bizarre, comprenant un point décimal et un «E». Selon la marque de votre calculatrice, le nombre 125 par exemple, peut apparaître ainsi:

0,125E+3

ou 0,125E3

ou 0,125E03

Si vous introduisez le nombre 0,001 25, vous obtenez à l'affichage

0,125E−2

ou 0,125E−02

Vous avez certainement observé que 1,25E+2, 1,25E2 ou encore 1,25E02, correspondent tous à $1{,}25 \times 10^2$.

Cette «notation en virgule flottante normalisée» *pourrait* conduire à des confusions car elle est utilisée exactement comme la notation scientifique. Toutefois, la mantisse, au lieu d'être un nombre compris entre 1 et 9,999 99 est comprise entre 0,1 et 0,999 99...

Si la calculatrice se sert de la notation en virgule flottante normalisée, il convient de lire le manuel d'instructions qui l'accompagne. Ensuite, effectuez de nombreux calculs en utilisant des nombres très grands ou très petits, jusqu'à ce que vous soyez parfaitement familiarisé avec ce type de notation.

Examen personnel

Lisez attentivement chacune des phrases suivantes et assurez-vous que vous en comprenez bien le sens. Chaque phrase est suivie de quatre réponses possibles dont une seule est correcte. Faites un X sur la lettre correspondant à votre réponse.

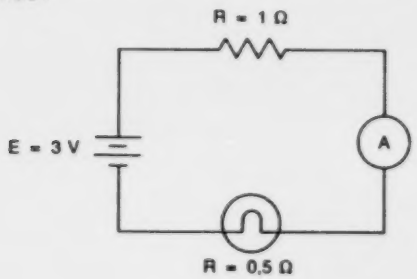
1. Quand vous voyez le préfixe μ (micro) devant une unité fondamentale, cela signifie que vous devez multiplier l'unité par:

   A. 10^6
   B. 10^3
   C. 10^{-3}
   D. 10^{-6}

2. Vous utilisez l'inverse d'un ohm, le mho, pour mesurer:

   A. l'inductance.
   B. la puissance.
   C. la conductance.
   D. la capacité.

3. Dans le circuit élémentaire représenté ci-dessous, quelle serait la puissance consommée?



   A. 13,5 W
   B. 9 W
   C. 6 W
   D. 4,5 W

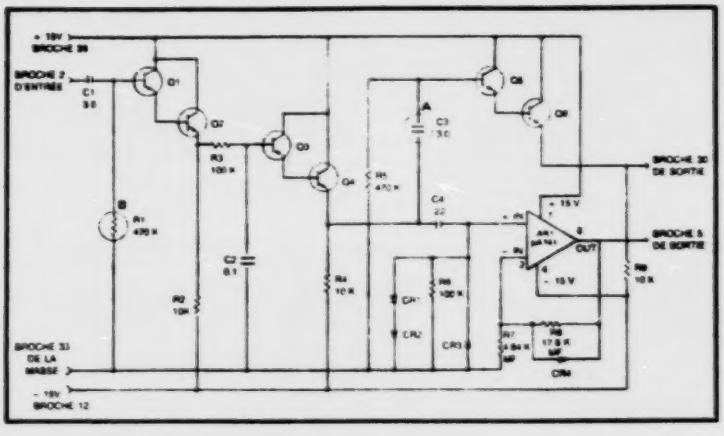
4. Supposez que votre patron soit parti en vacances en laissant une lampe de 60 W allumée dans son salon. Son ventilateur de 15 W est resté lui aussi en marche. À son retour, le compteur électrique montre qu'il a consommé 25,20 kWh d'énergie. Si l'on suppose que le compteur était juste, quelle a été la durée de ses vacances?

   A. 10 jours
   B. 12 jours
   C. 14 jours
   D. 16 jours

5. **Lequel des symboles suivants représente un relais?**

A. B. C. D.

Les questions 6 et 7 se basent sur le diagramme schématique ci-dessous.



6. **Que représente le symbole *A*?**

A. Condensateur
B. Circuit
C. Câble
D. Connecteur

7. **Que représente le symbole *B*?**

A. Diode
B. Résistance
C. Générateur
D. Fusible

8. **Un schéma représentant l'interaction entre les circuits de relais présente un aspect caractéristique; quel est le nom de ce schéma?**

A. Schéma simplifié
B. Schéma en échelle
C. Schéma synoptique
D. Carte

9. **Qu'arrive-t-il lorsqu'il y a «dépassement» dans un appareil de mesure?**

A. La lecture du cadran s'effectue sans erreur de parallaxe.
B. La lecture change d'une échelle à l'autre.
C. Les différentes échelles sont étalonnées.
D. L'aiguille se trouve au-delà de la déviation maximale.

10. **Quelle est la valeur instantanée maximale d'une tension alternative, atteinte dans le sens positif?**

A. La valeur moyenne
B. La valeur de pointe ou de crête
C. La valeur positive
D. La valeur efficace

Vous trouverez les réponses à la page 307.

Grandeurs électroniques et principes de vérification

BF0101

(Lexiques)

Français	Anglais
Accordable	Tunable
Alternance (sinusoïde)	Alternation
Amortissement	Damping
Audiofréquence	Audiofrequency
Blindage	Shielding
Bloc d'accord	Tuner
Bornier	Terminal board
Circuit imprimé	Printed circuit board
Crête-à-crête	Peak to peak
Déviation maximale	Full scale deviation
Diagramme schématique	Schematics (schematic diagram)
Dispositif	Device
Effet de charge	Loading effect
Effet de parallaxe	Parallax effect
Étalonner	Calibrate (to)
Force électromotrice	Electromotive force
Inducteur	Inductor
Mise à la terre	Grounding
Onde sinusoïdale	Sine wave
Pince crocodile	Alligator clip
Préamplificateur	Pre-amplifier
Puissance	Power
Radiofréquence	Radiofrequency
Schéma de câblage	Pictorial diagram
Schéma de câblage	Wiring diagram
Schéma en échelle	Ladder diagram
Schéma synoptique	Block diagram
Sonde	Probe
Valeur efficace	RMS value
Voltmètre électronique	TVM (transistor voltmeter)

Anglais	Français
Alligator clip	Pince crocodile
Alternation	Alternance (sinusoïde)
Audiofrequency	Audiofréquence
Block diagram	Schéma synoptique
Calibrate (to)	Étalonner
Damping	Amortissement
Device	Dispositif
Electromotive force	Force électromotrice
Full scale deviation	Déviation maximale
Grounding	Mise à la terre
Inductor	Inducteur
Ladder diagram	Schéma en échelle
Loading effect	Effet de charge
Parallax effect	Effet de parallaxe
Peak to peak	Crête-à-crête
Pictorial diagram	Schéma de câblage
Power	Puissance
Pre-amplifier	Préamplificateur
Printed circuit board	Circuit imprimé
Probe	Sonde
Radiofrequency	Radiofréquence
RMS value	Valeur efficace
Schematics (schematic diagram)	Diagramme schématique
Shielding	Blindage
Sine wave	Onde sinusoïdale
Terminal board	Bornier
Tunable	Accordable
Tuner	Bloc d'accord
TVM (transistor voltmeter)	Voltmètre électronique
Wiring diagram	Schéma de câblage

Appareils de mesure polyvalents

BF0102

Appareils de mesure polyvalents

Objectifs d'enseignement

Quand vous travaillerez dans le domaine électronique, vous rencontrerez toute une gamme d'appareillages électriques et électroniques. Pour leur mise en place, leur entretien et leur dépannage, vous devrez mesurer des grandeurs électriques. Le présent module vise à vous aider à utiliser efficacement les différents instruments utilisés et les mesures correspondantes.

Le premier chapitre est consacré aux différents types d'appareillages capables de mesurer des grandeurs électroniques très grandes ou très petites. Le deuxième chapitre traite de la fréquence, des différentes techniques et des instruments qui permettent de la mesurer. Enfin, le troisième chapitre présente certains accessoires permettant d'élargir la gamme des appareillages fondamentaux en facilitant les techniques de vérification, ou en permettant d'enregistrer les résultats de façon permanente.

À la fin de ce module, vous devriez être en mesure:

- *D'identifier les différents types de multimètres, et de comprendre les possibilités de chacun d'eux.*
- *De calculer la valeur des résistances multiplicatrices et des shunts, et de décrire exactement leurs caractéristiques et leurs fonctions.*
- *De définir les principes fondamentaux de la mesure des fréquences.*
- *De connaître l'utilisation des différents accessoires d'appareillages de vérification.*

Table des matières

Appareils de mesure polyvalents

Vue d'ensemble	67
Volt-ohm-milliampèremètre (VOM)	68
Précautions générales d'emploi	70
Étalonnage	71
Dépannage de base	72
Voltmètre électronique (à tubes à vide)	72
Multimètre à transistors	74
Multimètre à transistors à effet de champ (FET VOM)	74
Mesures analogiques et mesures numériques	75
Multimètres numériques	76
Shunts et résistances multiplicatrices	78
Calcul des résistances multiplicatrices	79
Calcul de la résistance de shunt	81
Vérificateurs de continuité	83
Exercice de contrôle 1	84

Les générateurs de signaux et leurs fonctions

Générateurs	85
Générateurs de signaux	86
Générateurs de fonctions	86
Modulation	87
Dépannage point par point	90
Injection de signaux	91
Exercice de contrôle 2	93

Compteurs, générateurs d'impulsions et accessoires des appareils de mesure

De l'utilité des compteurs et des générateurs d'impulsions 94
Compteurs 94
Facteur de proportionnalité d'échelle 95
Générateur d'impulsions 95
Mesure de la fréquence 97
Sonomètres 99
Accessoires des appareils de mesure 100
Charges fictives et plaques de refroidissement 103
Exercice de contrôle 3 105

Annexe 106

Examen personnel 112

Lexiques 115

Appareils de mesure polyvalents

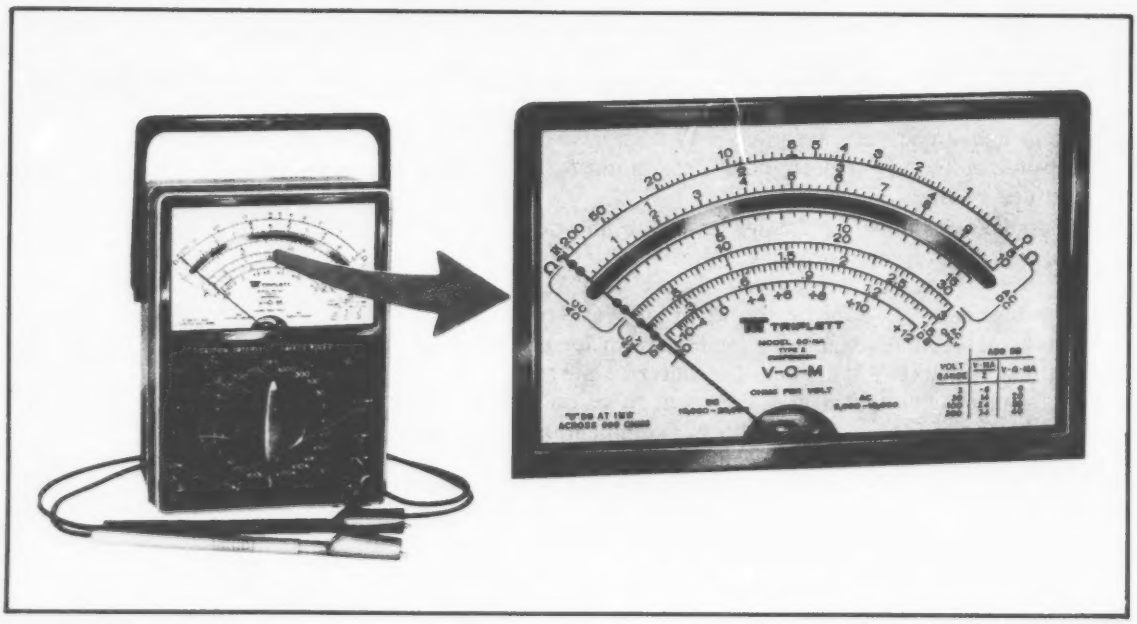
1 Vue d'ensemble

Comme vous l'avez appris dans le cours précédent, un multimètre est un appareil capable de mesurer plusieurs grandeurs électriques. Il se peut même que vous ayez déjà utilisé un VOM, c'est-à-dire un volt-ohm-milliampèremètre pour mesurer une tension, un courant ou une résistance.

Commençons donc par étudier les possibilités du VOM en le comparant à d'autres multimètres: le voltmètre électronique à tubes à vide (VTVM), le voltmètre à transistors (TVOM) et le multimètre à transistors à effet de champ (FET VOM). Nous expliquerons aussi la différence entre un multimètre analogique et un multimètre numérique (DMM). Vous apprendrez ce que sont les shunts et les résistances multiplicatrices, comment on les utilise pour augmenter les possibilités des multimètres et comment on les calcule. Enfin, nous examinerons les vérificateurs de continuité, car il s'agit d'instruments extrêmement simples, très utiles dans les essais électroniques.

2 Volt-ohm-milliampèremètre (VOM)

Un VOM peut mesurer la tension, la résistance et l'intensité d'un courant (**fig. 1**). Certains multimètres possèdent une fonction courant-alternatif qui permet de mesurer des tensions alternatives, mais la plupart des multimètres ne mesurent que des grandeurs en courant continu.



Courtoisie de Triplett Corporation

Fig. 1. Les multimètres, tels celui présenté ci-dessus, permettent d'effectuer la vérification des systèmes et des équipements électroniques que l'on trouve dans l'industrie. Principales caractéristiques: cadrans de grandes dimensions, lecture facile, marquage clair des sélecteurs et des connexions d'essai, pour faciliter le travail du technicien.

Les différentes fonctions du multimètre utilisent un équipage mobile commun. Mais l'appareil possède des circuits internes distincts pour mesurer la tension, la résistance et l'intensité du courant. Toutefois, les principes de fonctionnement utilisés sont les mêmes que ceux des appareils de mesure spécialisés.

Les différentes fonctions et gammes d'un multimètre sont choisies à l'aide de sélecteurs et de prises. On peut augmenter les gammes à l'aide de différents accessoires qui seront étudiés un peu plus loin.

Les multimètres présentent différentes sensibilités vis-à-vis de la tension. Cette sensibilité est donnée en ohms par volt, que l'on écrit souvent Ω/V. (Ω est la lettre grecque omega.) À l'extrême, un multimètre bon marché peut avoir une sensibilité de 1 000 Ω/V. Cet instrument peut vous suffire largement pour vérifier les fils électriques de votre logement, mais les applications électroniques exigeront de votre multimètre une sensibilité de l'ordre de 20 000 Ω/V (pour éviter de charger le circuit pendant l'essai). Pour déterminer la sensibilité de votre multimètre, il vous suffit de vous reporter aux caractéristiques techniques du fabricant données dans le manuel d'instruction.

Le multimètre de la figure 1 est un volt-ohm-milliampèremètre classique. D'autres multimètres peuvent avoir d'autres gammes ou d'autres graduations sur les échelles; il n'en reste pas moins qu'ils ont tous les mêmes fonctions de base. Il convient de lire le manuel d'instructions du fabricant, livré avec l'appareil. On pourra ainsi déterminer les caractéristiques de la marque et du modèle de multimètre utilisé.

Vous remarquerez l'existence de six échelles sur le multimètre de la figure 1. L'échelle supérieure est graduée en ohms, et sert à mesurer les résistances. Les deux échelles suivantes sont identifiées AC (courant alternatif) et DC (courant continu). Ces deux échelles portent quatre jeux de graduation. Elles servent à mesurer l'intensité d'un courant continu et les tensions alternatives et continues.

Les deux échelles suivantes, en descendant, sont identifiées A-C ONLY, (courant alternatif seulement). Elles correspondent aux gammes inférieures de la tension alternative, soit 0-3 V (volts) et 0-1,5 V. Ces deux gammes en courant alternatif assurent une compensation des effets provoqués par le redresseur (qui n'est pas représenté) sur la mesure d'une faible tension alternative. Vous vous rappelez qu'un redresseur convertit un courant alternatif en courant continu. La plupart des équipages des appareils de mesure ne travaillent qu'en courant continu.

Cet appareil possède une dernière échelle, l'échelle des décibels (dB). Le décibel est une unité de rapport de puissance dont nous parlerons rapidement dans la deuxième section de ce module. Si votre multimètre possède une échelle de décibels, il convient de lire soigneusement le manuel d'instructions du fabricant, car il existe différentes échelles de rapports sur les différents multimètres.

Le multimètre présenté à la figure 1 possède un seul sélecteur de fonctions, trois prises de raccordement, un inverseur de polarité et un bouton de réglage du zéro «Ω». Certains multimètres possèdent un sélecteur de fonctions qui permet de choisir le type de mesure (en courant continu ou alternatif) avec en outre un commutateur de gammes. D'autres multimètres possèdent aussi plusieurs prises de raccordement: ces appareils permettent à l'utilisateur de choisir le

type de mesure, la paire de prises appropriée et la position correcte du commutateur de gammes. Pour le multimètre présenté ici, il suffit à l'utilisateur de choisir la bonne position du commutateur.

Quand la mesure porte sur une tension continue ou une intensité de courant continu, l'inverseur de polarité (+ −) permet à l'utilisateur de provoquer une inversion interne des connexions de raccordement sans avoir à inverser physiquement les fiches. Remarquez le cadran à miroir placé entre les deux échelles c.a./c.c. (alternatif/continu); le miroir permet à l'utilisateur d'augmenter la précision des lectures: pour avoir une lecture correcte, il ne faut pas voir dans le miroir une image réfléchie de l'aiguille. En d'autres termes, il faut se placer exactement en face de l'appareil.

Le sélecteur de droite (v-Ω-MA, $\frac{V - MA_2}{2}$) provoque une division par deux. Supposons que vous faites une mesure et que l'aiguille se trouve dans la moitié inférieure de l'échelle. Il suffit de mettre ce sélecteur en position basse; l'aiguille se déplace dans la deuxième moitié de l'échelle, au voisinage de la déviation maximale, ce qui augmente la précision des mesures.

Une fois de plus, il est important de se référer au manuel d'instructions de la marque et du modèle de multimètre que vous utilisez. Vous pourrez ainsi déterminer exactement les prises et les positions de sélecteur correspondant à une mesure particulière. Chaque multimètre est différent de ce point de vue. Dans tous les cas, il faut toujours positionner les sélecteurs avant de brancher l'appareil dans le circuit. Si vous avez un doute quant à la valeur approximative de la grandeur électrique à mesurer, commencez toujours par la gamme la plus élevée et descendez successivement en passant aux gammes inférieures. Cette technique évite les surcharges qui risquent d'endommager l'appareil, voire de le détruire.

3 Précautions générales d'emploi

La liste ci-dessous présente quelques-unes des précautions fondamentales qu'il faut prendre lors de l'utilisation d'un multimètre:

1. Faire très attention lors de la manipulation d'un circuit de haute tension. Ne jamais toucher l'appareil ou les connexions de raccordement quand le circuit est sous tension.

2. Chaque fois que cela est possible, éviter d'utiliser deux sondes. Utiliser toujours un fil de terre avec une pince crocodile fixée au point de mise à la terre. Puis, utiliser la sonde libre pour le côté positif (sous tension). Si l'on ne peut éviter d'utiliser deux sondes, s'assurer que l'isolation est excellente sur les poignées des sondes et sur les fils. Maintenir les doigts sur l'isolant, aussi loin que possible de la pointe métallique.
3. Pour augmenter la précision, effectuer la mesure en choisissant la gamme dans laquelle l'aiguille se trouve dans la partie médiane de l'échelle.
4. Se rappeler que les résistances ne doivent *jamais* être mesurées dans un circuit *sous tension*. Si la résistance est branchée dans un circuit, il faut s'assurer que l'alimentation du circuit est coupée et qu'un de ses côtés est débranché.
5. Si l'ohmmètre ne revient pas au zéro, changer la pile. Ne jamais laisser une pile usée dans l'appareil: elle risque de provoquer des dommages en cas de fuite.
6. Quand le multimètre n'est pas utilisé, placer le sélecteur de gammes sur la tension continue la plus élevée. Enlever les fils de raccordement. Si l'appareil possède une position arrêt «off», le mettre sur cette position. Ne jamais laisser l'appareil sur une gamme de résistance.
7. Manipuler doucement le multimètre. Il convient de le protéger contre les poussières, l'humidité, la chaleur excessive, les fumées corrosives et tout ce qui risquerait de l'endommager. Il ne faut pas le manipuler brutalement. Vérifier fréquemment les fils de raccordement. Ils doivent être en parfait état. Des fils défectueux conduisent à des lectures erronées. De plus, ils peuvent être dangereux.

4 Étalonnage

Un multimètre s'étalonne exactement comme un appareil de mesure spécialisé. En d'autres termes, dans un multimètre, on étalonne le voltmètre, l'ohmmètre et l'ampèremètre. Ce sont trois étalonnages différents. Le manuel d'instructions d'un multimètre contient toujours la technique à utiliser pour l'étalonnage. Mais, rappelez-vous: il faut toujours étalonner la gamme la plus faible en courant continu, car toute erreur au niveau de cette gamme se répercute, en plus grand, dans les gammes supérieures.

5 Dépannage de base

Si les valeurs lues sur un multimètre sont irrégulières ou inexactes, il faut se reporter au Tableau de dépannage qui se trouve dans le manuel d'instructions du fabricant. Voici quelques-unes des causes générales de mauvais fonctionnement:

1. mauvais raccordement à la terre;
2. accumulation d'une charge statique sur la face avant de l'appareil;
3. mauvais réglage du commutateur de gammes ou du sélecteur de fonctions;
4. piles trop faibles (ohmmètre);
5. contacts du sélecteur sales;
6. fils de raccordement défectueux.

Avant de procéder à une opération de dépannage présentée dans le manuel d'instructions, assurez-vous que vous avez parfaitement lu et compris ces instructions. Si vous n'êtes pas absolument sûr de ce que vous faites, abstenez-vous! Vous risquez de vous blesser gravement si vous effectuez des opérations de dépannage sans savoir *exactement* ce que vous faites!

6 Voltmètre électronique (à tubes à vide)

Le voltmètre électronique ou VTVM possède un circuit électronique qui alimente l'équipage d'un voltmètre (fig. 2). Le circuit électronique peut jouer le rôle d'amplificateur, de redresseur ou des deux à la fois.

Un VTVM sert à mesurer une tension alternative, une tension continue et une résistance. Il est normalement étalonné de façon à permettre la mesure de valeurs efficaces et de valeurs crête-à-crête de tensions alternatives sinusoïdales. Un VTVM ne mesure *pas* directement l'intensité d'un courant.

Courtoisie de RCA Corporation

Fig. 2. Le voltmètre électronique ci-contre possède sept gammes de tension alternative et huit gammes de tension continue. Toutes les mesures sont affichées sur un grand cadran, protégé contre toutes détériorations par des systèmes électroniques.

La sensibilité d'un VTVM peut être très élevée: plusieurs mégohms (MΩ; M = meg(a) = 1 000 000) par volt. La résistance d'entrée de la plupart des VTVM est de 11 MΩ sur toutes les gammes de tension continue. Cette résistance d'entrée élevée assure une charge minimale du circuit étudié (une surcharge pourrait provoquer une erreur dans la mesure de la tension de fonctionnement). Le circuit amplificateur augmente la sensibilité de l'instrument, tout en maintenant très faible le débit de courant.

Un VTVM typique peut mesurer des résistances de 0,1 Ω à 1 000 MΩ. Noter que l'échelle des résistances d'un VTVM va de gauche à droite: une résistance nulle correspond au zéro de l'appareil, et la résistance maximale correspond à la tension maximale.

Les gammes de tensions sont évidemment bien différentes. Mais, en général, on a les gammes suivantes: 0-0,5-1,5-5-15-50-150-500-1500 volts en continu; 0-1,5-5-15-50-150-500-1500 volts efficaces en courant alternatif; et 0-4-14-40-140-400-1400-4000 volts crête-à-crête en courant alternatif. On pourrait augmenter la gamme jusqu'à 50 kV en c.c. (kilovolts; *k* = *kilo* = 1 000), à l'aide d'une sonde haute tension. Il existe aussi des voltmètres électroniques qui mesurent aussi bien des millivolts (mV; *m* = *milli* = 0,001) que des volts. Les gammes pourraient être alors 0-1-3-10-30-100-300 mV efficaces et 0-1-3-10-30-100-300 V efficaces.

7 Multimètre à transistors

Dans les voltmètres électroniques VTVM que nous venons d'étudier, les tubes à vide exigent des courants de chauffage qui proviennent d'une alimentation alternative (ce qui peut provoquer un léger ronflement, mais ne prête pas à conséquence). De plus, un VTVM est relativement encombrant et exige un certain temps de chauffage. Enfin, quand il faut remplacer les tubes, il faut réétalonner l'appareil et faire «vieillir» le nouveau tube, en d'autres termes, le roder.

Les multimètres à transistors, ou volts-ohm-milliampèremètres à transistors (TVOM) présentent de nombreux avantages par rapport aux voltmètres électroniques. Ces appareils (quelquefois appelés voltmètres à semi-conducteurs) utilisent des transistors à la place de tubes. Ils n'exigent pas de temps de chauffage et on peut donc les utiliser immédiatement. Enfin, ils sont alimentés par une pile: non seulement ils sont plus petits et plus légers, mais encore ils peuvent être utilisés sur des circuits sans mise à la terre, puisqu'ils n'ont aucun raccordement à une alimentation alternative. Noter toutefois que les multimètres à transistors (TVOM) *sont* affectés par la température, ce qui peut être un inconvénient dans certains cas.

Le fonctionnement d'un transistor dépend de l'intensité du courant, alors que les tubes à vide des VTVM dépendent de la tension. En d'autres termes, un multimètre à transistors (TVOM) est conçu différemment de façon à présenter une impédance d'entrée élevée. En raison de cette différence, la résistance d'entrée d'un multimètre à transistors est différente pour chaque gamme de tensions.

Courtoisie de EICO Electronic Instruments Co., Inc.

Fig. 3. L'appareil ci-dessus peut être adapté à une mesure particulière grâce au choix de la position appropriée des sélecteurs MODE (mode), FUNCTION (fonction) et RANGE (gamme). Toutes les mesures sont effectuées à l'aide d'une sonde et d'un fil de terre enfiché dans la prise de terre (GND).

8 Multimètre à transistors à effet de champ (FET VOM)

La **figure 3** montre un multimètre à transistors à effet de champ, appelé aussi volt-ohm-milliampèremètre à effet de champ (abrégé en FET VOM, ou FET TVOM, ou encore multimètre TEC). Le multimètre FET VOM mesure l'intensité d'un courant alternatif, les tensions alternatives et continues, la résistance et l'intensité des courants continus. Extérieurement, il ressemble à un multimètre à transistors, mais son circuit est analogue à celui d'un voltmètre électronique, car le transistor à effet de champ donne au voltmètre FET VOM l'impédance d'entrée élevée d'un VTVM. La plupart des multimètres à semi-conducteurs actuellement fabriqués utilisent un transistor à effet de champ (TEC) dans l'étage d'entrée.

Le multimètre à transistors à effet de champ de la figure 3 est conçu pour une mesure particulière si l'on agit sur les sélecteurs MODE (mode), FUNCTION (fonction) et RANGE (gamme). Le sélecteur MODE commande les modes OFF (arrêt), «+ DC» (courant continu positif), «− DC» (courant continu négatif) et «AC» (cou-

rant alternatif). Le sélecteur FUNCTION adapte l'instrument de façon qu'il mesure une résistance (OHMS), une tension (VOLTS), ou une intensité (MA, c'est-à-dire milliampères). Le sélecteur RANGE peut prendre sept positions différentes. La commande ZERO ADJ (réglage du zéro) sert à mettre l'appareil au zéro; le bouton OHMS ADJ (réglage résistance) permet de régler l'aiguille pour la mesure d'une résistance.

Il convient dans tous les cas de se reporter au manuel d'instructions du fabricant, qui décrit le modèle et le fonctionnement de multimètre à transistors à effet de champ FET VOM que vous utilisez. Ses possibilités sont certainement analogues à celles de l'appareil présenté à la page 74 mais il peut y avoir des différences quant au mode de réglage adapté à une mesure donnée.

9 Mesures analogiques et mesures numériques

Quand on dit que quelque chose est analogue à autre chose, nous faisons une comparaison. Par exemple, l'on peut dire que le gardien de but, dans une partie de hockey ou de soccer, joue un rôle analogue à celui du receveur dans un match de baseball. Les mesures analogiques montrent comment une grandeur varie en fonction d'une autre grandeur. Une grandeur électronique est habituellement mesurée par ses variations dans le temps. Quand nous représentons un courant alternatif par le graphique appelé «sinusoïde», nous effectuons une analogie entre les variations continues de la tension et le temps. Ces variations sont représentées par des modifications continues de la position d'une série de points (graphe) sur le papier, ou encore sur l'écran cathodique (CRT) d'un oscilloscope.

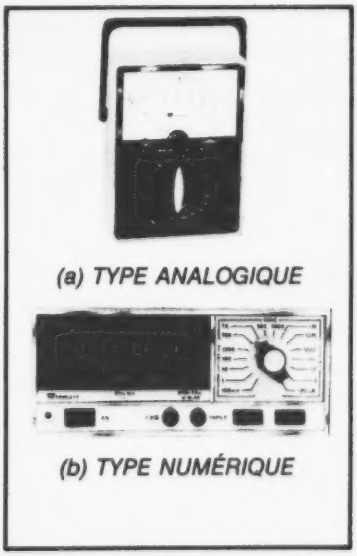
On utilise des instruments de mesure analogiques pour mesurer des événements qui évoluent de façon continue sans passer par des paliers distincts. On peut citer à titre d'exemple d'instrument de mesure analogique le tachymètre.

Jusqu'à maintenant, tous les appareils que nous avons vus présentaient un *affichage analogique*. Dans un instrument à affichage analogique, la déviation de l'aiguille est proportionnelle à la valeur de la grandeur électrique introduite dans l'appareil. Pour les instruments de mesure, nous attribuons des valeurs numériques à des phénomènes ou événements non numériques. Ces valeurs numériques sont graduées sur l'échelle, et nous lisons la position de l'aiguille sur cette échelle. Quand nous observons le déplacement de l'aiguille, nous observons en fait une variation qui est analogue, c'est-à-dire comparable, à la variation de la grandeur électrique mesurée.

Quand nous lisons une valeur sur un multimètre en notant la position d'une aiguille sur une échelle continue (comme dans les figures 1, 2 et 3), la mesure est toujours une mesure *approximative*. Si l'appareil est très sensible, et si la lecture est faite très soigneusement, la valeur obtenue sera une très bonne approximation. Il n'en reste pas moins que ce ne sera qu'une approximation.

Par ailleurs, une mesure numérique est une mesure exacte. Le mot ***numérique*** se rapporte au processus de comptage. Les mesures numériques servent à évaluer des grandeurs ou des objets présentant des valeurs numériques particulières et absolues. Par exemple, si vous comptez les caisses qui passent sur une courroie transporteuse, vous mesurez leur quantité par un moyen numérique: une caisse, deux caisses, trois caisses, et ainsi de suite. Les mesures numériques donnent des valeurs *exactes*, et non des valeurs *approximatives*.

Bien sûr, on peut convertir une mesure analogique en une mesure numérique (et inversement): nous allons bientôt étudier les compteurs à lecture numérique. Un affichage numérique est commode et facile à utiliser. Il est toutefois important de savoir si l'on effectue une mesure analogique ou une mesure numérique; en d'autres termes, il faut savoir si les nombres sur lesquels nous travaillons représentent des valeurs exactes ou seulement des valeurs approximatives. Si l'entrée de l'instrument de mesure est une entrée analogique (comme c'est le cas, par exemple, pour un multimètre), la sortie sera elle aussi analogique, c'est-à-dire approximative, même si son affichage est numérique (fig. 4.) Nous verrons plus loin les mesures numériques des compteurs et des minuteries.



(a) TYPE ANALOGIQUE

(b) TYPE NUMÉRIQUE

Courtoisie de Triplett Corporation Inc.

Fig. 4. L'affichage numérique (*b*) est plus facile et plus rapide à lire que l'affichage analogique (*a*), avec moins de risques d'erreurs.

10 Multimètres numériques

Les instruments numériques affichent la valeur d'une tension, de l'intensité d'un courant ou d'une résistance (ou encore d'autres grandeurs) sous la forme d'une série de chiffres directement exprimés dans le système de numération décimale. (Dans un appareil analogique, cette valeur est indiquée par la position d'une aiguille sur une échelle). Un instrument numérique est généralement plus ou moins rapide, précis, robuste, et d'utilisation commode. Il exige souvent très peu de réglages de la part de l'utilisateur; et comme ce der-

nier n'a pas à interpréter la position d'une aiguille par rapport à une graduation, l'erreur de lecture est réduite à un minimum.

Le **multimètre numérique (DMM)** présenté à la **figure 5** possède à peu près la taille d'une calculatrice de poche. Il pèse moins de 500 grammes. Le DMM possède toutes les fonctions de mesure des multimètres standard: tension alternative et continue, intensité d'un courant alternatif et continu, résistance. Ce multimètre mesure des résistances jusqu'à 10 000 MΩ; à l'aide d'un adaptateur, il peut mesurer des températures; il possède une «mémoire de crête», mémoire à court terme permettant de saisir la valeur de pointe de signaux transistoires en courant alternatif ou continu. Le DMM donne aussi des indications sonores et visuelles pour la vérification de coupure et la détection de niveau. Il peut fonctionner jusqu'à 100 h (heures) sur une pile alcaline courante de 9 V.

Les caractéristiques techniques de ce multimètre numérique, reproduites du manuel d'instructions donné en annexe, montrent ses nombreuses possibilités d'emploi.

Courtoisie de John Fluke Mfg. Co., Inc.

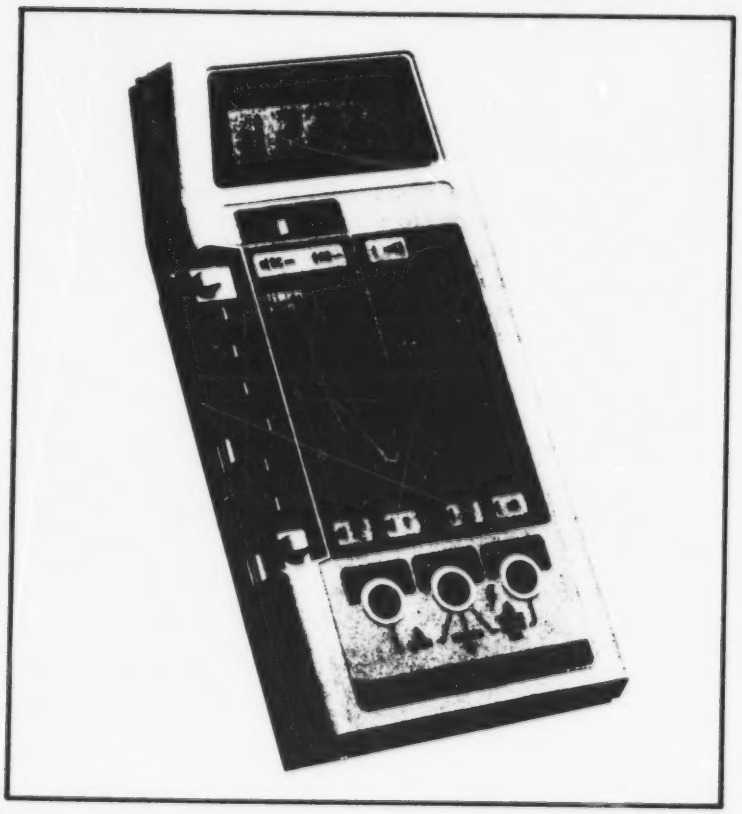


Fig. 5. Les progrès réalisés en électronique ont joué un rôle important dans la réduction des dimensions des appareils de mesure électriques. Cet appareil peut aussi mesurer la conductance, qui est l'inverse de la résistance.

11 Shunts et résistances multiplicatrices

On utilise des shunts et des résistances multiplicatrices pour augmenter les possibilités de mesure d'un appareil. Un shunt est une faible résistance connectée en parallèle entre deux points d'un circuit (**fig. 6**). Il offre un autre chemin possible pour une partie du courant; c'est pourquoi on l'appelle aussi «dérivation». Par exemple, si on monte une résistance de shunt en parallèle sur un ampèremètre à courant continu, on fait passer ce dernier à une gamme plus élevée.

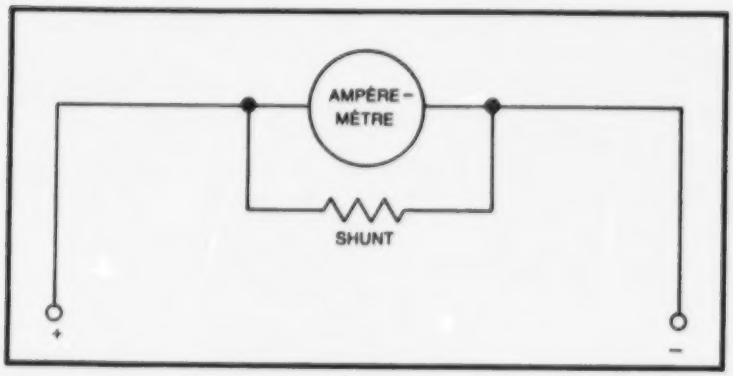


Fig. 6. Un shunt est une faible résistance montée en dérivation entre deux points: il offre un autre chemin pour la plus grande partie du courant.

Une résistance multiplicatrice (**fig. 7**), montée en série avec un voltmètre, élargit la gamme du voltmètre en augmentant sa résistance interne. On peut aussi utiliser une résistance multiplicatrice pour transformer un ampèremètre en voltmètre. Vous vous souvenez certainement que l'équipage mobile d'un appareil de mesure se déplace en fonction du courant. En fait, il s'agit d'un ampèremètre. Et comme il possède une certaine résistance interne (fils et bobine), l'intensité de courant nécessaire à l'obtention d'une déviation maximale est d'autant plus faible que la résistance interne est elle-même plus faible.

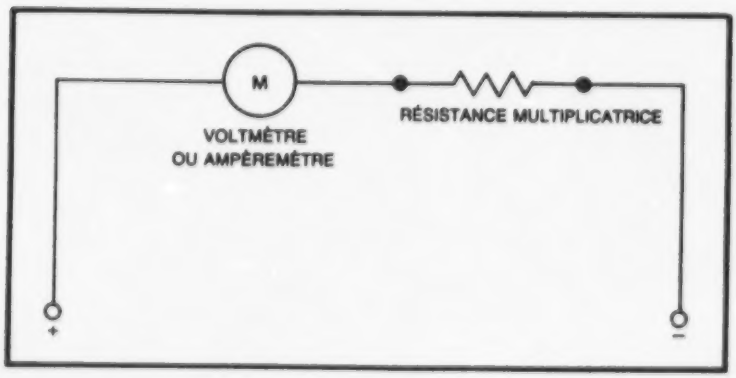


Fig. 7. Une résistance multiplicatrice montée en série avec un voltmètre ou un ampèremètre augmente la résistance totale de l'appareil de mesure.

Comme l'équipage mobile d'un appareil de mesure se déplace en fonction du *courant* et possède une *résistance* interne, la loi d'Ohm nous dit qu'un ampèremètre en courant continu peut aussi être utilisé comme voltmètre en courant continu. Supposons, par exemple, qu'une intensité de 0,001 A (ampère) provoque une déviation maximale d'un équipage dont la résistance interne est de 1 000 Ω. La loi d'Ohm ($E = IR$) nous dit que 0,001 x 1 000 = 1 V. C'est-à-dire qu'on aura une déviation maximale de l'aiguille si on applique une tension de 1 V à cet équipage.

Les shunts et les résistances multiplicatrices sont utilisés souvent dans les multimètres. Par exemple, quand vous utilisez le commutateur de gammes, ou si vous passez d'un mode à un autre sur un multimètre, vous introduisez en fait des shunts ou des résistances multiplicatrices dans le circuit de base de l'équipage de l'appareil. Une sonde accessoire de haute-fréquence (R.F.) utilisée pour les essais R.F. possède un shunt incorporé. Quand les shunts ou les résistances multiplicatrices sont ainsi incorporés, il n'est pas nécessaire de calculer leur valeur.

Pour augmenter les possibilités d'un appareil, il est souvent nécessaire d'utiliser des shunts ou des résistances multiplicatrices extérieurs. L'utilisation de shunts extérieurs permet de mesurer des courants alternatifs ou continus à l'aide d'un voltmètre à transistors (TVOM) ou d'un voltmètre électronique (VTVM). Il existe un accessoire appelé *boîte de shunts* qui possède plusieurs résistances standard, que l'on peut sélectionner selon la valeur voulue.

12 Calcul des résistances multiplicatrices

Comme son nom l'indique, une résistance multiplicatrice *augmente* la résistance quand elle est montée en série avec un appareil de mesure. Pour calculer la valeur requise d'une résistance multiplicatrice, il convient de faire appel à la loi d'Ohm.

Nous voulons utiliser l'équipage mobile d'un milliampèremètre à courant continu, dont la déviation maximale est de 1 mA (milliampère) pour mesurer une tension comprise entre 60 et 100 V (fig. 8). Pour éviter toute détérioration, nous avons besoin d'un voltmètre dont la déviation maximale est de 100 V. Nous savons qu'il faut augmenter la résistance de l'appareil pour mesurer une tension plus élevée. Si nous installons une résistance multiplicatrice en série avec l'équipage mobile, nous en augmentons la résistance totale. Mais comment connaître la valeur de la résistance supplémentaire qu'il faut introduire?

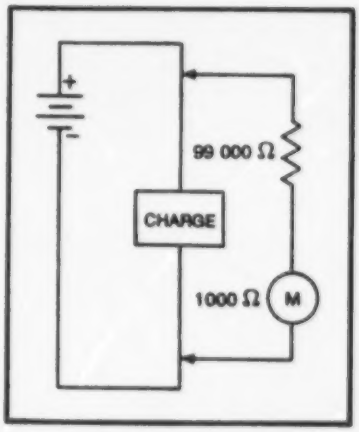


Fig. 8. Utilisation d'une résistance multiplicatrice pour convertir un milliampèremètre à courant continu en voltmètre à courant continu.

Comme vous le savez, la loi d'Ohm relie la tension, l'intensité et la résistance:

$$R = \frac{E}{I}$$

Il nous faut connaître la *tension* et *l'intensité* du courant. Ces valeurs nous permettront de calculer la résistance totale du circuit. Nous voulons que E soit égal à 100 V. Supposons que l'intensité du courant, à la déviation maximale, est de 0,0001 A, ou $\frac{1}{10\,000}$ A. Comme l'intensité du courant à la déviation maximale est égale à l'inverse de la sensibilité de l'appareil, nous avons à notre disposition deux moyens pour calculer la résistance multiplicatrice. L'une de ces méthodes est facile à retenir.

1. La résistance totale requise (y compris la résistance de l'équipage mobile) est égale à la sensibilité en tension (en ohms par volt) multipliée par l'intervalle de tension voulue:

$$R_T = E \text{ x } \textit{sensibilité}$$

Ou bien encore, en passant aux valeurs numériques, R_T = 100 V (gamme de tension souhaitée) x $\frac{10000}{1}$ (sensibilité de l'appareil) = 100 000 ohms.

2. La résistance totale requise (y compris la résistance de l'équipage mobile) est égale à la déviation maximale voulue (volts) divisée par la déviation maximale en intensité observée:

$$R_T = \frac{E}{I}$$

Nous venons tout simplement d'écrire la loi d'Ohm. En remplaçant par les valeurs numériques, nous obtenons le même résultat:

$$R_T = \frac{100}{0{,}001} = 100\,000\ \Omega$$

Nous observons aussi que l'intensité à la déviation maximale est l'inverse de la sensibilité. Supposons que l'intensité à la déviation maximale soit de 0,001 A ($\frac{1}{1000}$ A). L'inverse est $\frac{1000}{1}$, soit 1 000 V. (Rappelez-vous

que diviser par une fraction, c'est mutliplier par son inverse.) Il peut s'avérer plus facile de visualiser la relation entre les deux modes de calculs, en écrivant:

$$R_T = \frac{100}{\frac{1}{1\,000}}\ 100\ (1\ 000) = 100\ 000\ \Omega$$

Il ressort de ce calcul qu'un voltmètre ayant une déviation maximale de 100 V doit avoir une résistance de 100 000Ω. Mais c'est là la résistance *totale*, c'est-à-dire la résistance de l'équipage mobile, *augmentée* de la résistance multiplicatrice. En conséquence, après avoir calculé la résistance totale requise, il faut en soustraire la résistance interne de l'équipage mobile de l'appareil. (On trouvera cette résistance interne dans les caractéristiques techniques, ou bien on pourra la déterminer directement.)

Un autre nombre qu'il est important de connaître est ce que l'on appelle le facteur de multiplication d'échelle. Il s'agit d'un nombre, par lequel il faut multiplier la valeur indiquée sur l'échelle pour obtenir la valeur réelle.

Habituellement, les résistances multiplicatrices sont choisies de façon que les valeurs lues puissent être multipliées par des nombres commodes: 2, 5, 10, 50 ou 100. Par exemple, si notre milliampèremètre de départ avait une résistance interne de 1 000 Ω, on aurait une tension maximale de 1 V. (C'est ce que nous dit la loi d'Ohm.) Cela signifie que les valeurs lues doivent être multipliées par 100 pour obtenir la valeur réelle.

13 Calcul de la résistance de shunt

Un shunt a pour but de limiter le flux du courant de façon que l'intensité soit dans des limites prédéfinies. On utilise des résistances de shunts pour convertir des microampèremètres (*micro* = 0,000 001) ou des milliampèremètres en des appareils à gamme plus élevée. On les utilise aussi sur les TVOM (voltmètres à transistors) et les VTVM (voltmètres électroniques) pour mesurer l'intensité d'un courant alternatif ou d'un courant continu.

Rappelez-vous le cours d'électricité fondamentale: c'est dans la dérivation en parallèle d'un circuit ayant la résistance la plus faible que passe l'intensité de courant *la plus élevée*. On insère donc une résistance de shunt en parallèle sur l'équipage mobile pour prélever la plus grande partie du courant appliqué en ne laissant passer

dans la résistance de l'appareil de mesure qu'un faible pourcentage du courant.

La première étape, pour calculer la résistance de shunt, consiste à déterminer la résistance de l'équipage mobile de l'appareil R_M. On pourra trouver dans les caractéristiques techniques (Manuel d'instructions) une valeur approximative de R_M.

Dès que l'on connaît la résistance interne de l'appareil, on pourra calculer la résistance d'un shunt (R_S) quelconque grâce à l'équation suivante:

$$R_S = \frac{R_M}{N - 1}$$

où R_S = résistance de shunt, en ohms
R_M = résistance de l'appareil de mesure, en ohms
N = facteur de multiplication d'échelle.

Le facteur de multiplication d'échelle est le nombre par lequel il faut multiplier la valeur indiquée sur l'échelle pour obtenir la valeur réelle. Par exemple, si R_M = 100 Ω et si l'intensité du courant, pour la déviation maximale, est de 1 mA (fig. 9), on peut agrandir cette échelle à 1 A, en multipliant par 1 000 ($\frac{1}{1\text{ mA}}$ = 1 000).

$$R_S = \frac{100}{1\,000 - 1} = \frac{100}{999} = 0{,}1\ \Omega$$

La résistance de shunt est très faible par rapport à la résistance de l'appareil proprement dit. Mais il y a une excellente raison à cela: il faut bien considérer que seulement un millième du courant doit passer à travers l'appareil. La gamme d'intensité mesurée est d'autant plus élevée que la résistance de shunt est plus faible.

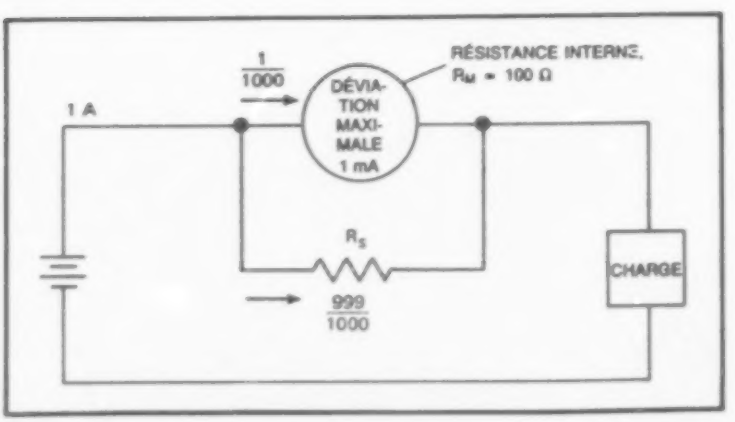


Fig. 9. Utilisation d'un shunt pour dévier la plus grande partie du courant à l'extérieur d'un appareil de mesure.

Dans la pratique, il est vraiment exceptionnel de devoir calculer la résistance d'un shunt: les shunts extérieurs sont normalisés, ce qui est bien commode et facilite les remplacements. Les résistances de shunts portent une marque qui correspond à la résistance correspondant à l'intensité avec, en plus, une chute de tension donnée.

Une résistance de shunt est étalonnée en ampères. Cette intensité est l'intensité maximale pouvant être mesurée par un appareil shunté. Prenons l'exemple courant d'un shunt de 50 A: quand on l'utilise avec un appareil ayant une déviation maximale de 50 mV, il donne une lecture directe de 50 A, sans qu'il faille utiliser de facteur de multiplication d'échelle. (Mais si l'on avait utilisé un shunt de 5 A avec ce même appareil de 50 mV, il aurait fallu utiliser un facteur de multiplication d'échelle de 0,1).

Si le shunt correspond à une autre intensité nominale, par exemple, 1, 2, 10 ou 25 A, il faut utiliser le bon facteur de multiplication d'échelle pour convertir la valeur lue sur l'échelle. Pour déterminer le facteur de multiplication d'échelle, divisez l'intensité nominale du shunt par la déviation maximale de l'appareil. Par exemple, si l'on utilise un shunt de 10 A avec un appareil dont la déviation maximale est de 50 mV, on a un facteur de multiplication d'échelle de:

$$\frac{10}{50} = 0{,}2$$

Il faut donc multiplier par 0,2 (facteur de proportionnalité) la valeur lue sur l'échelle pour déterminer l'intensité réelle.

14 Vérificateurs de continuité

Les vérificateurs de continuité sont des appareils simples et bon marché qui servent à vérifier si un circuit est fermé, c'est-à-dire s'il y a continuité, ou s'il est ouvert. **Ces appareils ne sont utilisés que dans des circuits hors tension.**

Le vérificateur de continuité représenté à la **figure 10** possède une sonde à pointe. L'autre connexion est réalisée à l'aide d'une pince crocodile. La poignée de la sonde contient des piles et une lampe. Quand le vérificateur est raccordé aux extrémités ou bornes du circuit étudié, la lampe s'allume si la continuité est assurée. S'il y a une coupure dans le circuit, la lampe ne s'allume pas.

Dans certains vérificateurs de continuité, une alarme sonore est prévue, en remplacement ou en complément de la lampe.

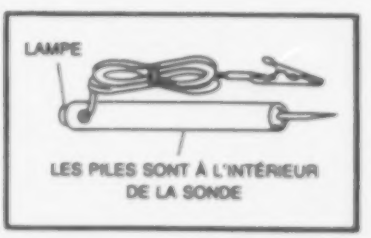


Fig. 10. Ce vérificateur de continuité est fondamentalement un circuit série simple comprenant une lampe, une pince, un fil de connexion, une pile logée dans une sonde et une pointe fixée à la sonde. Le «circuit à tester» complète le circuit série.

Exercice de contrôle 1

Faites une pause pour revoir quelques points-clés. Maintenant répondez aux questions suivantes. Vérifiez vos réponses et si elles sont différentes des nôtres vous trouverez l'explication à la section donnée à chaque réponse.

Vos réponses

1. Si vous n'êtes pas sûr de la valeur approximative de la grandeur électrique à mesurer, vous devez d'abord mettre le commutateur de gamme sur la gamme (la plus élevée, la plus basse)_____. — 1. _____

2. Vrai ou faux? Des piles usées qu'on laisse dans un appareil de mesure peuvent détériorer ce dernier en cas de fuite. — 2. Vrai Faux *(Entourez la bonne réponse.)*

3. Quand un appareil de mesure utilise une aiguille et une échelle pour indiquer la manière dont une grandeur varie en fonction d'une autre, la mesure est dite (analogique, numérique) _____. — 3. _____

4. Vrai ou faux? Quand vous utilisez un vérificateur de continuité pour tester un circuit, l'alimentation doit être coupée. — 4. _____

Indiquez pour chaque appareil de la colonne de droite, la lettre correspondant à l'abréviation de gauche.

5. *a.* DMM
   b. FET VOM
   c. TVOM
   d. VTVM
   e. VOM

5. _____ Voltmètre électronique
   _____ Multimètre à transistors
   _____ Multimètre à transistors à effet de champ
   _____ Multimètre
   _____ Multimètre numérique

Réponses aux questions de l'exercice de contrôle 1

1. la plus élevée — Section 2
2. Vrai — Section 3
3. analogique — Section 9
4. Vrai — Section 14
5. _d_ Voltmètre électronique — Section 6
   _c_ Multimètre à transistors — Section 7
   _b_ Multimètre à transistors à effet de champ — Section 8
   _e_ Multimètre — Section 10
   _a_ Multimètre numérique

Les générateurs de signaux et leurs fonctions

15 Générateurs

Quand un courant circule à travers un conducteur, il se produit autour de ce conducteur un champ électrique et un champ magnétique. Si ce courant est alternatif, l'intensité du champ électrique et du champ magnétique augmente et diminue selon l'importance et la direction des variations du courant. Ces augmentations et ces diminutions sont appelées des ondes. Vous vous rappelez avoir déjà appris qu'un ensemble d'inversions (depuis la position zéro jusqu'à la valeur maximale positive, puis le retour à zéro, puis la descente jusqu'à la valeur négative maximale, puis la remontée à zéro) est ce qu'on appelle un cycle.

La fréquence définit la manière dont nous relions au temps l'apparition des événements. Quand nous parlons de la *fréquence* d'une onde électromagnétique, par exemple, nous voulons parler du nombre de cycles que complète l'onde pendant un temps donné. L'unité courante de fréquence est le hertz (Hz). On l'appelait autrefois cycle par seconde (cps). Un hertz est égal à un cycle par seconde.

La fréquence à laquelle oscille (vibre) une onde électromagnétique particulière dépend de sa longueur. La fréquence est d'autant plus élevée que la longueur d'onde est plus courte. En d'autres termes, la fréquence est inversement proportionnelle à la longueur d'onde. La fréquence est représentée par la lettre f; la lettre minuscule grecque lambda (λ) est utilisée comme abréviation de la longueur d'onde.

Il est probable que vous n'utiliserez jamais la relation entre la longueur d'onde et la fréquence; mais il est peut-être bon de bien comprendre les notions utilisées lors de la mesure des fréquences. Imaginons que la fréquence d'un courant alternatif soit inférieure à 10 000 Hz , pratiquement, la totalité de l'énergie se trouvant dans les champs électrique et magnétique retourne au conducteur durant chaque cycle du courant. Quand la fréquence dépasse 10 000 Hz, une faible partie de cette énergie se détache du conduteur sous la forme d'ondes électromagnétiques. Cette énergie échappée est transmise dans l'espace à la vitesse de la lumière.

L'instrument de mesure que nous allons étudier porte essentiellement sur les vibrations ou signaux produits par ces ondes électromagnétiques. Les ondes dont la fréquence produit des sons pouvant être détectés par l'oreille humaine sont appelées **ondes audiofréquence**, ou **ondes A.F.** Les fréquences de la gamme A.F. vont d'environ 20 à 20 000 Hz. Quand la fréquence est supérieure à environ 30 000 Hz, on parle d'**ondes en radiofréquence**, ou **ondes R.F.** Les micro-ondes et les ondes radar sont des ondes à hyperfréquence. Le mot «micro-onde» peut vous rappeler la relation fondamentale entre la longueur d'onde et la fréquence: comme *micro* est un préfixe correspondant à une très petite quantité, à une faible longueur d'onde correspond une fréquence élevée.

16 Générateurs de signaux

Un générateur de signaux est fondamentalement un circuit oscillant qui crée une tension alternative à fréquence définie, ayant une forme d'onde particulière. Les générateurs de signaux sont habituellement classés selon la fréquence des signaux produits. Les générateurs de signaux à fréquence variable existent pour différentes gammes de fréquence: audiofréquence, vidéo, radiofréquence et micro-ondes (hyperfréquences).

Les oscillateurs audiofréquence sont des générateurs A.F.; les générateurs R.F. produisent des signaux sur une gamme spécifiée de fréquences.

Un **générateur de fréquence étalon** est un générateur de signaux servant à étalonner les générateurs à fréquence variable utilisés dans les équipements d'essai. Les étalons de fréquence sont importants. En effet, la précision d'une mesure de fréquence dépend évidemment de la précision de l'appareil utilisé. Les générateurs de fréquence étalon sont étalonnés par comparaison aux signaux émis par la WWV, la station radio du National Bureau of Standards (NBS) à Washington, D.C.

17 Générateurs de fonctions

On peut aussi classer les générateurs de signaux selon leurs caractéristiques de sortie. Un **générateur de fonctions** est un générateur de signaux qui sont fonction du temps et non de la fréquence. Il s'agit en particulier de formes d'ondes spéciales: ondes triangulaires, ondes carrées (ou rectangulaires), ondes en dents de scie et d'autres for-

mes pour les bases de temps. Un **générateur d'impulsions** est un générateur de fonctions que l'on utilise quand on a besoin de définir rigoureusement les intervalles de temps. Les impulsions et les ondes carrées sont utilisées comme sources de signaux dans les circuits de commande. Les générateurs de fonctions sont utilisés pour tester les circuits des ordinateurs, les circuits de synchronisation et les différentes autres fonctions qui dépendent essentiellement du temps.

La principale utilisation d'un générateur de signaux consiste à ajuster un circuit accordé sur sa bonne fréquence. Les générateurs de signaux servent aussi à vérifier la sensibilité et la sélectivité d'un récepteur, ainsi que son rapport signal/bruit. On utilise des générateurs de signaux de laboratoire, de très grande précision, pour étalonner différents appareils tels que des oscilloscopes. Lors du réglage d'un récepteur radio MF (à modulation de fréquence) ou télévision, on a besoin d'un générateur de signaux R.F. à balayage modulés en fréquence. (Nous parlerons plus loin des générateurs de signaux de balayage.)

La **figure 11** montre un générateur de signaux R.F. typique. Il possède cinq gammes de fréquences que l'on peut choisir à l'aide d'un sélecteur. Il est ainsi possible de produire des radiofréquences allant de 100 kHz (kilohertz) ou kc (kilocycles) à 54 MHz (mégahertz) ou MC (mégacycles). Les différentes échelles se chevauchent à leurs extrémités: **de cette manière, on est assuré de la continuité des fréquences d'une bande à l'autre.** En effet, si une échelle s'arrêtait exactement au début de l'autre, on risquerait de ne pas disposer des fréquences correspondant aux extrémités de l'une et de l'autre.

On choisit la fréquence de sortie à l'aide du grand cadran situé à la partie supérieure droite. Il existe deux commandes d'affaiblissement R.F. (commande grossière et commande fine): l'utilisateur peut ainsi agir sur l'amplitude du signal au niveau de la borne de sortie. Le signal de sortie se présente sous forme d'un signal non modulé (le signal porteur), ou encore sous forme d'un signal modulé, après combinaison avec un signal audio à basse fréquence. On peut aussi disposer du signal audio (400 Hz) en réglant le sélecteur de signaux. Cette fréquence sert à vérifier les étages audio des récepteurs radio et des amplificateurs d'audiofréquences. Il existe une prise sur ce générateur de signaux R.F., qui vous permet d'appliquer un signal de modulation externe au signal R.F. produit.

Courtoisie de EICO Electronic Instrument Co., Inc.

Fig. 11. Les générateurs de signaux sont très utiles pour vérifier différents types d'équipements électroniques. La plupart des générateurs possèdent aussi une sortie audio, qui permet de vérifier les équipements audio.

18 Modulation

La modulation d'une onde porteuse désigne le processus qui permet aux ondes R.F. de transporter les sons. Chaque station de radiodiffusion émet des ondes radio à la fréquence particulière qui lui a été assignée. En fait, l'émission fait intervenir deux types d'ondes:

les **ondes porteuses** et les **ondes sonores** (fig. 12). L'onde porteuse possède une fréquence constante et une amplitude ou intensité constante. Le microphone capte les ondes sonores et les convertit en un courant électrique ayant la même configuration que celles-ci. Il modifie l'amplitude ou la fréquence de l'onde porteuse, selon que les ondes sont **modulées en amplitude (MA)** ou **modulées en fréquence (MF)**.

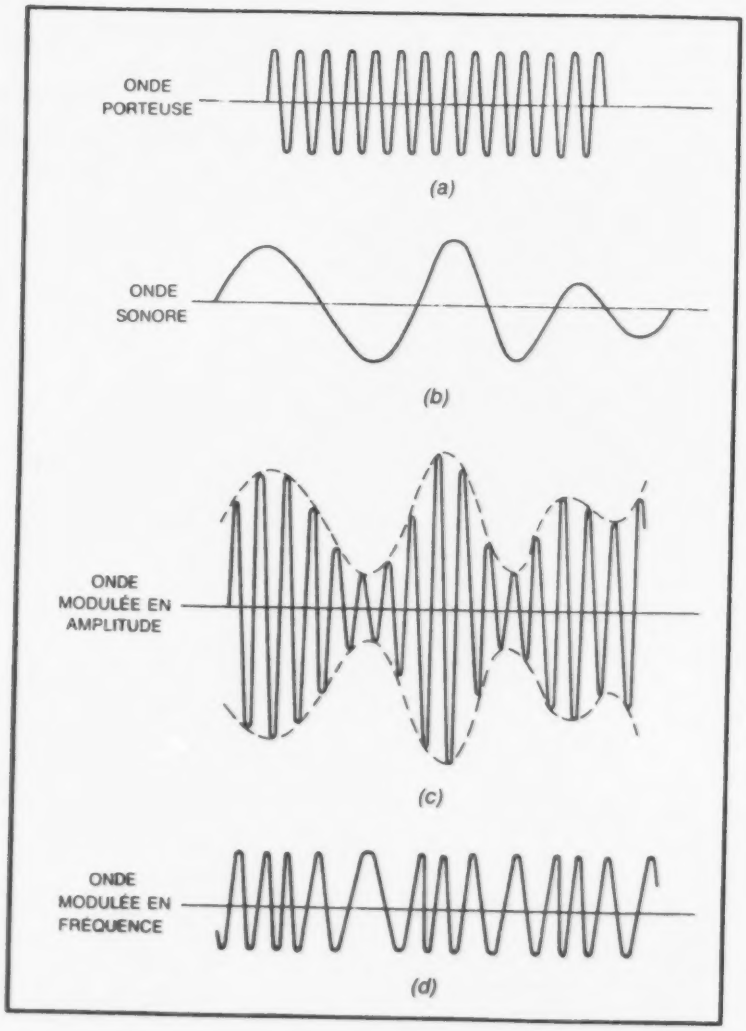


Fig. 12. Quand on module *l'amplitude* de l'onde porteuse (*a*) de façon qu'elle transmette l'onde sonore (*b*) , on obtient l'onde modulée en amplitude (*c*). La modulation de la *fréquence* de l'onde porteuse, dans les mêmes situations, donne l'onde (*d*) modulée en fréquence.

Les générateurs de signaux de balayage émettent un signal R.F. qui varie en fréquence, sur une large gamme de fréquences. Le signal R.F., d'amplitude constante, est mélangé à un signal A.F. et la radiofréquence change à un rythme déterminé par l'amplitude du signal audio. **L'importance du glissement de fréquence par rapport à la fréquence centrale est ce qu'on appelle l'excursion maximale.** La *fréquence centrale* est la fréquence correspondant au milieu de la bande de fréquences appliquées à un amplificateur à large bande donnée. L'*excursion maximale* détermine la gamme de fréquences sur lesquelles la sortie varie autour de la fréquence centrale. L'excursion maximale dépend de l'amplitude du signal audio; le nombre de fois où apparaît cette excursion dépend de la fréquence du signal audio.

Ce signal audio fait varier la fréquence de l'oscillateur. Les signaux de balayage servent à révéler la réponse à une bande de fréquences. Les signaux de sortie sont observés sur l'écran d'un oscilloscope.

Il existe un appareil de mesure auxiliaire particulièrement utile, le **générateur de marquage**. Il permet de mélanger un signal de balayage des composantes à fréquence très stable et à faible amplitude. Ce générateur crée de petites marques (tops) sur la courbe de fréquence (**fig. 13**). Si l'on fait varier la fréquence du signal de marquage, on peut visualiser l'endroit où la courbe de réponse «tombe» et où elle «remonte».

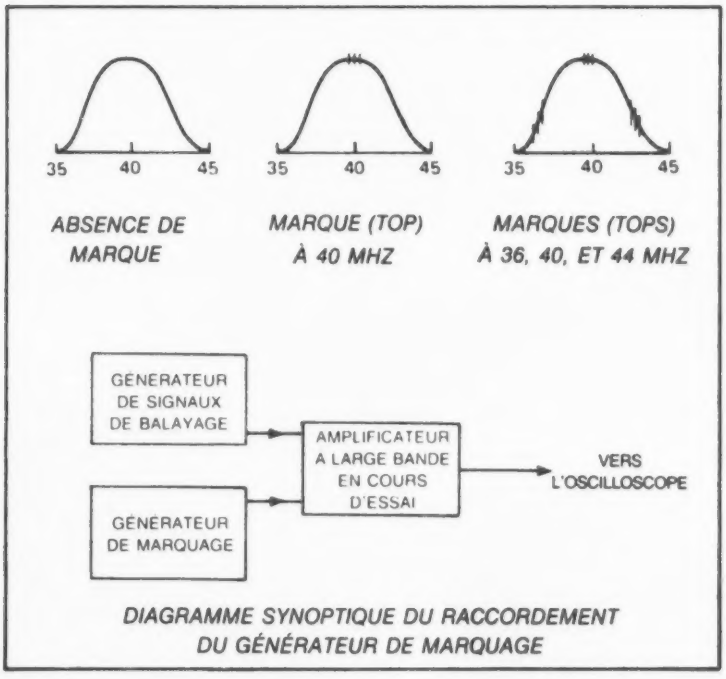


Fig. 13. Utilisation du générateur de marquage pour étalonner la courbe de fréquence.

Comme nous l'avons mentionné précédemment, tous les générateurs de signaux ne produisent pas des ondes sinusoïdales. On utilise souvent, pour le comptage et la commande, des ondes carrées et d'autres ondes impulsionnelles; les ondes carrées sont utilisées dans les ordinateurs et autres dispositifs numériques. Mais quel que soit le générateur de signaux, son principe de base reste le même: une tension alternative est produite à une fréquence définie, avec une forme d'onde particulière. **Le générateur de signaux crée ainsi un étalon permettant de vérifier et de régler les dispositifs en cours d'essai.**

19 Dépannage point par point

Le dépannage point par point est une technique de dépannage qui consiste à appliquer un signal d'essai approprié aux bornes d'entrée du composant testé. L'essai porte sur la présence ou la modification du signal en différents points du circuit, la progression se faisant des bornes d'entrée aux bornes de sortie.

Si le signal utilisé est un signal A.F., on pourra utiliser des casques d'écoute pour vérifier la présence, l'absence, l'amplification, la réduction ou la distorsion du signal en différents points du circuit. (Toujours aller de l'entrée vers la sortie.) On peut utiliser un casque d'écoute à haute impédance, monté en série avec un condensateur pour éviter de court-circuiter l'alimentation de l'amplificateur étudié. On pourra aussi se servir d'une sonde blindée pour les isoler du ronflement induit par la main. Il suffit ensuite d'écouter et de juger à l'oreille de l'absence, de l'amplification, de la réduction ou de la distorsion du signal à un étage donné.

On pourra utiliser un voltmètre électronique VTVM ou un multimètre numérique DMM (ou un autre multimètre à transistors TVOM) pour visualiser la présence et l'amplitude d'un signal. Comme ces appareils répondent à de basses tensions, le signal utilisé ne peut avoir que quelques millivolts. Ici aussi, utiliser une sonde blindée.

Un oscilloscope indique la présence du signal injecté, en même temps que son amplitude et sa forme d'onde. En outre, il révèle différents phénomènes extérieurs: ronflements, oscillation, bruits, présence (induction) de signaux externes dans le circuit étudié.

Les étages R.F. et M.F. (moyenne fréquence) doivent subir un dépannage point par point à l'aide d'une sonde R.F. spéciale et d'un voltmètre électronique ou d'un multimètre numérique (ou encore d'un oscilloscope). On obtient une moyenne fréquence en combinant deux signaux R.F., par exemple 1 000 Hz et 1 500 Hz. La différence, ici 500 Hz, est alors la moyenne fréquence.

Il existe un appareil alimenté par pile appelé contrôleur de signaux R.F. Il utilise un signal d'essai modulé en amplitude (MA) et des sondes spéciales. Un signal MA est appliqué aux bornes d'entrée d'antenne du récepteur étudié, et le cadran du récepteur est ajusté à la fréquence d'essai. Ce contrôleur de signaux R.F., accordable, est utilisé dans des applications industrielles. Il peut servir aussi à vérifier les appareils audio stéréophoniques; en effet, il permet une bonne discrimination entre les signaux désirés et les signaux parasites.

La **figure 14** montre un système de dépannage point par point d'un récepteur, ainsi que le mode opératoire correspondant. Bien souvent, le manuel d'instructions du fabricant comprend ce schéma avec les différents points d'essai (chapitre «Dépannage»).

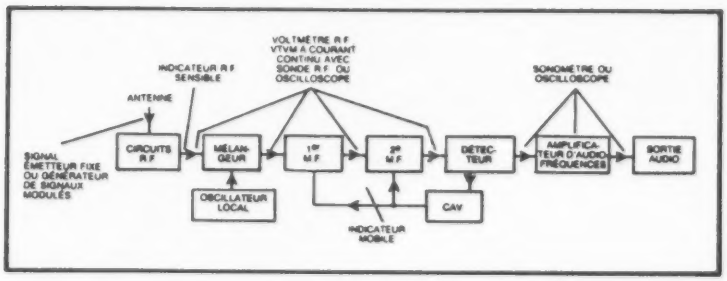


Fig. 14. Ce diagramme synoptique montre qu'il existe trois fréquences principales de signaux dans un récepteur radio AM. La radiofréquence (R.F.), la moyenne fréquence (M.F.) et l'audiofréquence démodulée (A.F.) que l'on trouve dans l'amplificateur d'audiofréquences.

20 Injection de signaux

Il existe une autre technique de dépannage qui est à l'opposé du dépannage point par point: il s'agit de l'injection de signaux. **Avec la technique de l'injection de signaux, on commence à la sortie (ou un dispositif de charge) pour remonter jusqu'à l'antenne (ou aux bornes d'entrée).** Il s'agit d'une méthode rapide permettant d'isoler un étage qui ne fonctionne pas ou qui fonctionne mal. On a besoin de signaux d'entrée à différentes fréquences (R.F., moyenne fréquence, audiofréquence), pour vérifier un récepteur par la méthode de l'injection de signaux.

La **figure 15** montre un schéma d'injection de signaux. Toujours commencer à la sortie, en remontant jusqu'au défaut. Les types de signaux injectés dans les différents points sont présentés en couleur.

La figure 15 montre un schéma d'injection de signaux. Toujours commencer à la sortie, en remontant jusqu'au défaut. Les types de signaux injectés dans les différents points sont présentés en couleur.

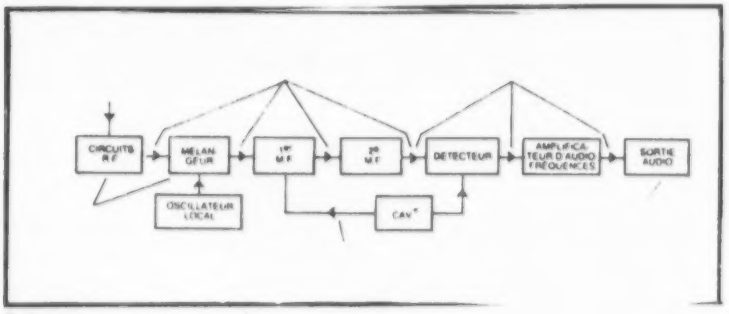


Fig. 15. Schéma d'injection de signaux montrant les différents types de signaux en chaque point du schéma simplifié.

* *Contrôle automatique de volume*

Exercice de contrôle 2

Il est temps de faire une deuxième pause pour vérifier vos connaissances sur les générateurs et leurs fonctions. Comparez vos réponses aux nôtres et, si nécessaire, révisez les sections citées en référence.

Vos réponses

1. Les micro-ondes sont des ondes électromagnétiques dont la fréquence est:

   A. très faible.
   B. moyenne.
   C. très élevée.

   1. _____

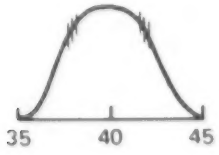
2. Vrai ou faux? Un générateur de signaux de fonctions produit un signal lié à une audiofréquence.

   2. Vrai Faux
   (Encerclez la bonne reponse.)

3. La modulation d'une onde porteuse permet à l'onde de transporter un _____.

   3. _____

4. La courbe de fréquence illustrée présente des tops (marques) à _____ et _____ MHz.

   4. Vrai Faux
   (Encerclez la bonne reponse.)

5. Vrai ou faux? Tous les générateurs de signaux produisent des ondes sinusoïdales.

   5. Vrai Faux
   (Encerclez la bonne réponse.)

Réponses aux questions de l'exercice de contrôle 2

1. C. très élevée Section 15
2. Faux Section 17
   (Un générateur de fonctions produit des signaux qui sont fonction du temps.)
3. son Section 18
4. 38, 42 Section 18, Fig. 13
5. Faux Section 18
   (Certains générateurs de signaux produisent des ondes carrées et d'autres des ondes impulsionnelles.)

Compteurs, générateurs d'impulsions et accessoires des appareils de mesure

21 De l'utilité des compteurs et des générateurs d'impulsions

Dans de nombreuses applications électroniques, nous cherchons à compter le nombre de fois où se produisent des événements. Par exemple, sur une ligne de montage, un dispositif photoélectrique, ou tout autre détecteur, peut servir à compter les pièces passant devant lui sur un convoyeur.

Les compteurs et générateurs d'impulsions électroniques répondent à des impulsions, qui sont des variations brusques de tension ou d'intensité. Ces impulsions peuvent se produire à des intervalles irréguliers. Elles peuvent aussi se produire à une fréquence bien définie, qui est appelée le **taux de répétition des impulsions**. L'amplitude de l'impulsion peut varier: sa valeur peut être positive ou négative. La **durée de l'impulsion** est le temps (habituellement en millisecondes) pendant lequel l'amplitude de l'impulsion conserve sa valeur maximale.

On peut compter, minuter ou commander tout événement électrique, mécanique ou optique pouvant être converti en une impulsion électrique.

22 Compteurs

Un compteur compte le nombre d'impulsions qu'il reçoit. Quelquefois même, il l'enregistre. Par exemple, chaque fois que l'une des pièces se trouvant sur le convoyeur mentionné ci-dessus passe devant le détecteur photoélectrique, il se crée une impulsion. Le compteur

enregistre cette impulsion. Un compteur peut être utilisé pour enregistrer un phénomène. Il peut aussi avoir une fonction de commande. Par exemple, le compteur qui totalise les pièces peut aussi émettre une impulsion après en avoir compté un certain nombre. L'impulsion peut déclencher un circuit qui arrêtera le convoyeur.

23 Facteur de proportionnalité d'échelle

Les compteurs électroniques peuvent compter à de très grandes vitesses. Supposons par exemple que 1 200 pièces passent chaque minute devant notre détecteur photoélectrique. Une personne qui surveillerait les pièces ne pourrait pas les compter. Mais pour un compteur électronique, 1 200 pulsations par minute ne sont pas une tâche bien difficile.

Le comptage des impulsions, compte tenu de leur vitesse d'apparition, n'est pas effectué directement. En effet, le compteur répond certes à chaque impulsion d'entrée; mais il ne produit une impulsion de sortie qu'après avoir reçu un certain nombre d'entre elles. **Le rapport entre le nombre d'impulsions d'entrée et le nombre d'impulsions de sortie est ce qu'on appelle *le facteur de proportionnalité d'échelle*.** Un compteur pourra donner par exemple une impulsion de sortie pour 10 impulsions d'entrée. Il aura alors un facteur de 10. Si le compteur augmente de 1 unité chaque fois que 10 pièces passent devant le détecteur, il faut multiplier les valeurs lues par 10 pour connaître le nombre exact de pièces qui sont effectivement passées devant le capteur.

Un compteur à décades est un compteur qui opère dans le système décimal classique. Chaque «décade» peut compter jusqu'à 9. Quand on raccorde deux compteurs à décades, ils peuvent ensemble compter jusqu'à 99. Six compteurs à décades, reliés les uns aux autres, peuvent compter jusqu'à 999 999. Les nombres sont lus directement sur l'afficheur.

Les compteurs électroniques ou *diviseurs décimaux*, sont souvent utilisés pour mesurer des intervalles de temps et de fréquences en plus du simple comptage.

24 Générateur d'impulsions

Comme nous venons de le dire, un compteur enregistre des informations d'entrée ou l'apparition de certains événements. Un *générateur d'impulsions*, par ailleurs, émet des informations permettant de commander l'apparition de certains événements.

Un générateur d'impulsions électronique produit des impulsions à une fréquence donnée. Comme vous le savez déjà, la fréquence relie les signaux électriques au temps. Si nous disons qu'un phénomène a une fréquence de 60 Hz, nous voulons dire par là qu'il a 60 cycles par seconde. Ce que nous comptons, c'est le nombre d'impulsions se produisant au cours d'une unité de temps.

Vous voyez qu'il existe d'étroites corrélations entre les compteurs, les générateurs d'impulsions et la mesure des fréquences. **La figure 16** montre ce que l'on appelle un *compteur fréquencemètre universel.*

Courtoisie de Global Specialties Corporation

Fig. 16. Cet appareil peut servir de compteur ou de générateur d'impulsions. Il peut détecter, totaliser, indiquer une séquence d'événements ou encore mesurer la fréquence en comptant les périodes d'une forme d'onde.

Les circuits générateurs d'impulsions (ou circuits d'horloge) qui émettent des impulsions de sortie sont utilisés dans les systèmes de régulation industriels, les installations de radar, la télévision et les ordinateurs, ainsi que dans d'autres domaines où la précision du temps est importante. Ces circuits générateurs d'impulsions changent d'état quand ils sont soumis à une influence extérieure. En d'autres termes, le circuit reçoit un signal qui le met en état de conduction, ce qui crée une tension de sortie.

Un circuit de synchronisation est un type spécial de circuit générateur d'impulsions. Il est utilisé pour produire une fréquence de sortie conforme à une fréquence de référence (ou fréquence de synchronisation). Les circuits de synchronisation sont utilisés dans les émetteurs et récepteurs de télévision, dans les liaisons radiomaritimes, dans les télémesures, les ordinateurs et autres applications dans lesquelles on exige une simultanéité d'événements. À titre d'exemple, la qualité de réception de votre appareil de télévision dépend de la réception de deux signaux de synchronisation provenant de l'émetteur. L'un à 60 Hz pour le balayage horizontal et l'autre à 15 750 Hz pour le balayage vertical.

Les oscilloscopes et générateurs de fonctions sont habituellement utilisés pour vérifier les circuits générateurs d'impulsions et

les circuits de synchronisation. Si votre oscilloscope possède un commutateur électronique, il peut afficher au moins deux formes d'ondes simultanées. Vous pouvez ainsi comparer la phase et la fréquence de deux signaux d'entrée. Vous pouvez mesurer des intervalles de temps avec une grande précision à l'aide d'un tel accessoire de commutation électronique.

Nous étudierons dans un autre cours l'utilisation de l'oscilloscope et du commutateur électronique.

25 Mesure de la fréquence

La fréquence **permet de relier l'apparition d'événements au temps.** Comme nous l'avons dit au début de ce chapitre, si un conducteur transporte un courant alternatif, l'intensité des champs électrique et magnétique produits autour du conducteur change avec l'amplitude et la direction du courant. Nous représentons ces variations par des ondes. On appelle «cycle» un ensemble d'inversions: du zéro à une valeur positive maximale, puis retour à zéro jusqu'à une valeur négative maximale, puis remontée au zéro. La mesure d'une fréquence consiste donc à mesurer le nombre de ces cycles au cours d'une unité de temps.

Bien qu'il existe de nombreuses méthodes pour mesurer la fréquence, toutes ces techniques mettent en jeu deux facteurs: une source de signal auquel la fréquence étudiée est comparée, et un indicateur de sortie qui indique à l'utilisateur qu'il y a accord entre la fréquence connue et la fréquence d'essai.

Il est important de bien comprendre le fait suivant: la précision des résultats de l'essai dépend de la précision avec laquelle a été étalonné le générateur de signaux ou de fonctions. Il ne suffit pas qu'un générateur de signaux soit réglé sur une fréquence de sortie exacte pour pouvoir le régler ou le tester. L'appareil d'essai doit pouvoir maintenir cette fréquence tout au long de l'essai. Quand un appareil a tendance à s'écarter de son réglage initial pendant un certain temps, on parle de **dérive.** Les caractéristiques techniques d'un générateur de fréquence ou d'une autre source de signaux utilisée pour les essais indiquent le **pourcentage de dérive** par heure de l'appareil considéré.

Comme vous le savez, de nombreux appareils d'essai peuvent être utilisés comme générateurs de fréquence. Cependant, nous allons étudier la méthode générale d'accord de deux fréquences, plutôt que les appareils particuliers permettant d'y arriver.

L'essai des audiofréquences est habituellement réalisé par ce qu'on appelle la méthode du «battement nul». On pourra ici utiliser des casques d'écoute, un multimètre numérique ou un appareil de mesure analogue.

Si vous utilisez un écouteur (**fig. 17(*a*)**), vous devez faire varier la gamme du générateur à fréquence variable: vous entendrez alors des battements au voisinage de la fréquence de l'oscillateur inconnu. Les battements sont d'abord très rapprochés. Puis, au voisinage de la fréquence d'accord, les battements ralentissent. Quand les deux fréquences sont rigoureusement identiques, il n'y a plus de battement.

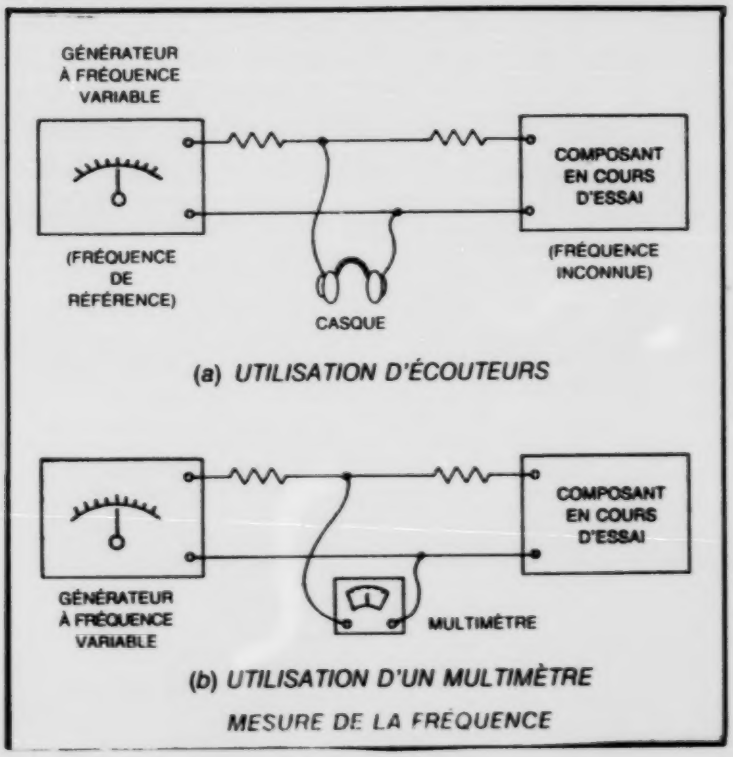


Fig. 17. On compare l'audiofréquence inconnue à une fréquence fournie par un oscillateur A.F. variable ou par un générateur de signaux. On utilise un écouteur, un multimètre numérique ou un appareil de même genre que l'on branche entre les deux oscillateurs. Des résistances évitent que les oscillateurs agissent trop l'un sur l'autre quand ils sont accordés au voisinage de la même fréquence.

Si vous utilisez un multimètre (fig. 17(*b*)), l'aiguille vibre rapidement à l'approche de la fréquence inconnue. Au fur et à mesure que l'accord devient plus fin, l'aiguille subit des oscillations plus lentes, en recouvrant une plus grande partie de l'échelle. Quand les deux fréquences sont rigoureusement identiques, l'aiguille s'arrête au zéro ou à une basse tension. Dans les deux cas, on lit la fréquence sur le cadran du générateur de signaux.

La méthode du battement nul peut aussi servir aux radiofréquences (en utilisant un générateur de signaux R.F.). Vous observez toutefois l'existence de plusieurs notes de battements. L'un des battements est plus fort que les autres. Il correspond à la fréquence fondamentale, et il faut l'utiliser pour la méthode du battement nul.

Un appareil de mesure A.F. en pont est un montage en pont R-C (résistance-condensateur) sensible à la fréquence. Il peut avoir une ou plusieurs gammes (habituellement trois). On choisit la gamme à l'aide d'un commutateur. Ce montage ne peut être équilibré que sur une fréquence à la fois. La fréquence est lue directement sur le cadran quand le pont est en équilibre. Les appareils à montage en pont sont expliqués plus en détail dans le prochain cours.

Les ondemètres à absorption sont des appareils simples permettant de mesurer les radiofréquences. Mais ils ne donnent que des valeurs approximatives. Quand l'ondemètre est accordé sur la fréquence testée, il absorbe une petite quantité d'énergie du circuit faisant l'objet de l'essai. Les ondemètres à absorption sont utilisés sur les circuits sous tension, l'ondemètre étant en accord avec le composant testé lors d'une brève interruption ou d'une chute en réponse. La fréquence est lue directement sur le cadran de l'ondemètre.

Il existe plusieurs autres types d'ondemètres. Tous fonctionnent selon le même principe. la fréquence et la longueur d'onde sont étroitement liées, et une énergie est émise à une certaine longueur d'onde.

Naturellement, on pourra tout aussi bien utiliser des oscilloscopes pour mesurer la fréquence. Si vous possédez un générateur de signaux à fréquence variable, avec une gamme convenable, vous pouvez vous en servir pour produire la fréquence d'essai. Quand il y a accord entre les deux fréquences, vous voyez sur l'écran un cercle ou une ellipse fixe.

En l'absence de générateur de signaux variables, vous pouvez encore mesurer une fréquence inconnue en utilisant un générateur monofréquence couplé à un oscilloscope. Quand les deux fréquences sont accordées selon une certaine relation, vous observez sur l'écran de jolies courbes appelées *figures de Lissajous* qui indiquent des rapports de fréquence particuliers, à partir desquelles il est facile de calculer la fréquence inconnue.

26 Sonomètres

Les sonomètres peuvent être étalonnés en décibels ou en unités de niveau. L'oreille est plus sensible à un changement d'intensité sonore à de faibles niveaux qu'à des niveaux élevés.

Le *bel* est l'unité fondamentale permettant de mesurer le niveau sonore. Ce nom provient d'Alexander Graham Bell. Un «bel» est le rapport logarithmique de deux puissances (habituellement désignées par P_1 et P_2). Il s'agit normalement du rapport entre la puissance de sortie et la puissance d'entrée. (Ne vous faites pas de souci pour calculer des «rapports logarithmiques». La plupart des manuels possèdent des tables de décibels pour les rapports de tension et les rapports de puissance.)

Le bel étant une unité trop grande, on utilise des décibels. Un décibel vaut un dixième de bel et on l'abrège en *dB*.

$$\text{db} = \log \frac{P_2}{P_1}$$

Rappelez-vous vos cours sur les puissances: on a $P = E^2R$; de sorte que les décibels peuvent aussi servir à mesurer une tension.

Un décibelmètre répond à la valeur de pointe d'une forme d'onde. Cette information ne présente d'importance que si vous voulez convertir des décibels en unités de niveau.

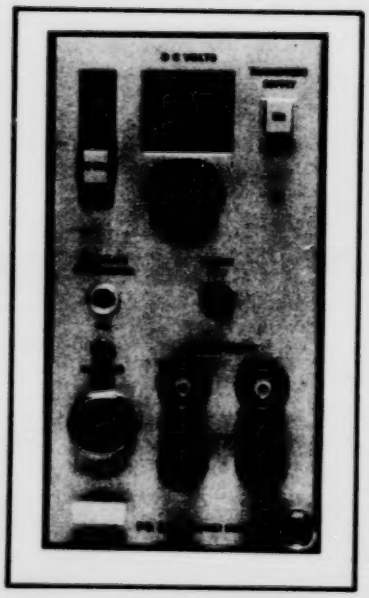
Les unités de niveaux (dont l'abréviation est VU) désignent la puissance dissipée dans une charge. Le VUmètre répond à la valeur moyenne d'une forme d'onde, plutôt qu'à la valeur de pointe d'une forme d'onde (ce qui est le cas d'un décibelmètre). Une unité de niveau est définie par un mW (milliwatt) dans une impédance de 600 Ω. Vous trouverez souvent des sonomètres gradués en VU au lieu des dB.

Un niveau de référence courant pour les décibels est 6 mW. On peut comparer tout autre niveau de puissance à ce niveau de référence. Il faut pour cela utiliser l'équation suivante:

$$\text{dB} = 10 \log \frac{P}{0{,}006\ \text{W}}$$

Pour des comparaisons de tension, on peut spécifier 500 Ω. La référence 6 mW correspond alors à 1,73 V.

Il convient de consulter le manuel du sonomètre pour déterminer la manière dont il faut lire son échelle.



Courtoisie de Tektronix, Inc.

Fig. 18. Il existe des alimentations de faibles dimensions, à bonne régulation, qui peuvent être utilisées lors de la conception, du dépannage et des essais. Cette alimentation particulière possède un contrôle de niveau de tension de sortie ainsi qu'un voltmètre.

27 Accessoires des appareils de mesure

On peut augmenter les possibilités des appareils de mesure de base. Il faut pour cela utiliser toute une gamme d'accessoires qui rendent les essais plus faciles ou qui permettent un enregistrement permanent des résultats.

Alimentations. Une alimentation est composée d'une série de circuits qui redressent et filtrent un courant alternatif pour fournir le courant continu nécessaire à d'autres circuits. Les alimentations fournissent la haute tension ou la basse tension dont a besoin un circuit électronique particulier. Habituellement, le niveau de sortie peut être défini pour une gamme donnée, tout comme une limite d'intensité. La **figure 18** montre une alimentation industrielle.

Boîtes de substitution. Dans certaines opérations d'essai et de dépannage, il est très utile d'avoir un assortiment de résistances, de condensateurs ou d'inducteurs pour tester un circuit. Une boîte de substitution contient toute une gamme de composants, de valeurs standard, que l'on peut choisir à l'aide d'un sélecteur.

Boîte de décades. Les boîtes de décades, comme les boîtes de substitutions, possèdent toute une gamme de résistances (**fig. 19**), de condensateurs ou d'inducteurs. Une boîte de décades est ainsi appelée car, pour chaque groupe de résistances, de condensateurs ou d'inducteurs, on a un sélecteur à dix positions qui fait varier la valeur par incréments, par exemple 100, 200, 300 ... 1000 pF (picofarads). (*Pico* vaut 0,000 000 000 001.) Les groupes sont additifs (par exemple, 100 + 200, etc.). Les boîtes de décades existent en plusieurs gammes.

Sondes à haute tension. Une sonde à haute tension augmente les possibilités d'un appareil pour la mesure des tensions. Les sondes à haute tension possèdent des diviseurs à résistances incorporés. Une grande impédance d'entrée minimise la charge du circuit. Les gammes courantes sont 10 et 50 kV.

Sondes R.F. Les sondes à haute fréquence permettent de mesurer des fréquences allant jusqu'à 500 MHz à l'aide d'un oscilloscope ou d'un multimètre numérique. Les circuits incorporés dans la sonde comprennent un circuit redresseur qui transforme l'onde d'entrée en une sortie en courant continu.

Sondes de courant. Il existe des sondes de courant spéciales, à très faible résistance. Leur gamme peut être augmentée à l'aide d'amplificateurs de sondes de courant. Avec un tel amplificateur, une sonde de courant peut mesurer de faibles intensités, jusqu'à 1 mA.

Enregistreurs sur papier. Les enregistreurs sur papier servent à fournir un enregistrement permanent d'événements. Ils présentent la variation continue d'une grandeur en fonction du temps. Habituellement, l'enregistreur possède un affichage à lecture directe, complété par un mécanisme d'enregistrement permanent de l'événement enregistré.

Bien qu'il existe différents modèles et marques d'enregistreurs, ils présentent tous les mêmes caractéristiques de base. Un enregistreur possède un mécanisme pour faire avancer le papier à une vitesse rigoureusement constante. Habituellement, le papier se présente en rouleau, et a reçu une pré-impression (graphiques ou coordonnées), ce qui permet d'interpréter facilement les informations tracées par l'aiguille ou le stylet. Le stylet se déplace en travers du papier sous l'effet des signaux électriques introduits dans l'enregistreur. L'importance du signal d'entrée détermine la *déviation* du stylet, c'est-à-dire son déplacement en travers du papier.

Courtoisie d'EICO Electronic Instruments Co., Inc.

Fig. 19. Les boîtes de décades de résistances, de même que les boîtes de décades de condensateurs, servent à déterminer la valeur exacte d'un certain composant dans un circuit particulier.

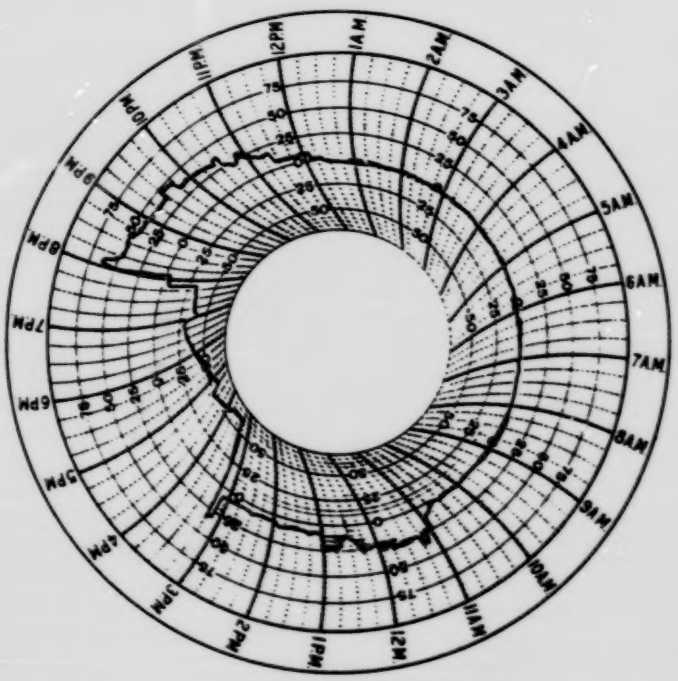
La **figure 20**(*a*) montre un enregistreur à bande, à action directe. Dans certains enregistreurs à bande, il existe plusieurs vitesses possibles. Certains enregistreurs peuvent même changer de vitesse pour mesurer des événements très rapprochés.

La figure 20(*b*) montre un graphique circulaire qui donne sur 24 heures l'enregistrement de l'intensité fournie par la charge d'une batterie. La forme du graphique est différente, mais un enregistreur de ce genre utilise les mêmes principes qu'un enregistreur à bande.

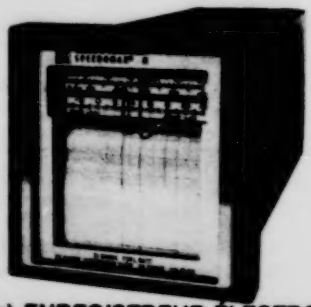
Fig. 20. Les enregistreurs sont utilisés chaque fois que l'on a besoin d'une lecture continue et permanente, comme par exemple dans les centrales électriques et les usines de fabrication. Ces appareils sont aussi appelés appareils graphiques.

(a) Courtoisie d'Amprobe Instrument
(b) Courtoisie de Lees & Northrup Corporation

(a) *ENREGISTREUR À BANDE À ACTION DIRECTE*



(b) *ENREGISTREMENT SUR 24 HEURES (AMPÈREMÈTRE À COURANT CONTINU)*



(c) *ENREGISTREUR ÉLECTRONIQUE*

La figure 20(*c*) montre un enregistreur électronique qui utilise des circuits électroniques pour surveiller une grandeur et provoquer le déplacement de l'aiguille à l'aide d'un moteur spécial. Cet enregistreur ne possède qu'une aiguille mais certains possèdent plusieurs aiguilles ou stylets qui tracent simultanément sur le papier.

Nous connaissons la vitesse d'avancement du papier en millimètres par minute; nous connaissons l'amplitude du signal d'entrée qui produira une certaine déviation du stylet. L'enregistreur peut donc nous donner un graphique correspondant à la variation continue de la grandeur mesurée en fonction du temps.

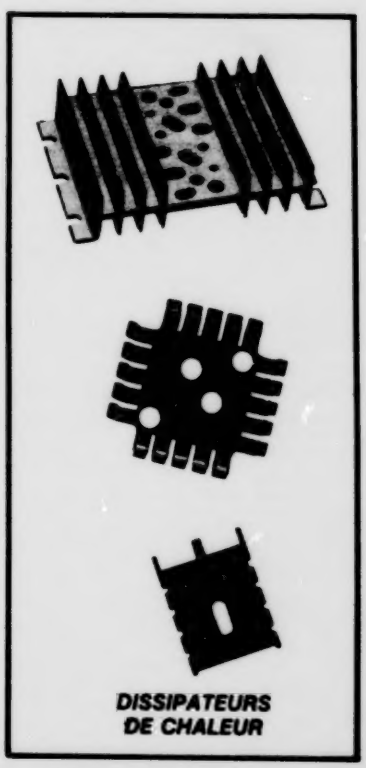
Si la grandeur mesurée varie trop rapidement, toutefois, il faut utiliser un enregistreur direct couplé à un convertisseur. On peut utiliser un diviseur de fréquence, monté entre l'enregistreur et la grandeur mesurée. Il en résulte un ralentissement des données, à une vitesse compatible avec les limites d'utilisation de l'enregistreur.

Normalement, les mesures numériques sont enregistrées sur une bande perforée ou sur une bande magnétique, en vue d'une utilisation sur ordinateur (plutôt que sur un enregistreur à papier). Il existe toutefois un enregistreur sur papier qui porte sur des grandeurs numériques. Il utilise un compteur qui commande une roue d'impression, et les valeurs numériques sont imprimées sur le papier à intervalles réguliers.

28 Charges fictives et plaques de refroidissement

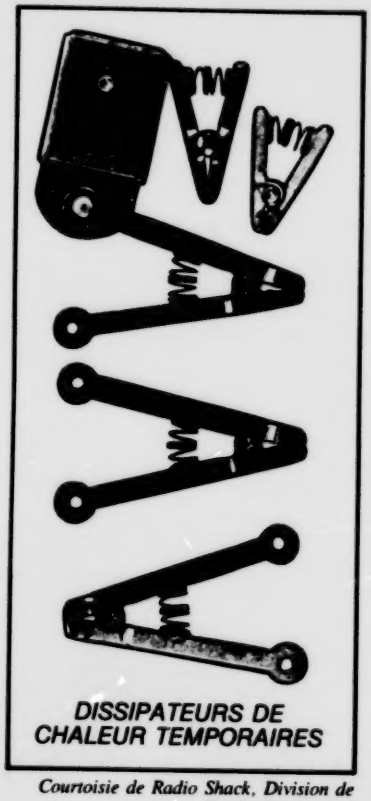
Ces deux composants facilitent beaucoup le travail du technicien. Une *charge fictive* est une charge artificielle utilisée à la place de la charge réelle sur le circuit étudié. Les charges fictives sont utilisées pour tester un circuit en charge, chaque fois qu'il est difficile ou peu pratique d'utiliser la charge réelle.

Un *dissipateur de chaleur* absorbe la chaleur et la stocke ou l'élimine d'un système thermique. Quand d'importantes quantités de chaleur sont en jeu, ou quand la température est un paramètre critique, on utilise des dissipateurs de chaleur commerciaux pour maintenir le circuit à température particulière. La **figure 21** montre différents types de dissipateurs de chaleur.



Courtoisie de Radio Shack, Division de Tandy Corporation

Fig. 21. Il existe différents types de dissipateurs de chaleur.



Courtoisie de Radio Shack, Division de Tandy Corporation

Fig. 22. Il est recommandé d'utiliser des dissipateurs de chaleur spéciaux pour éviter le surchauffage d'un composant lors d'une opération de soudage ou de déssoudage.

Un technicien chargé des essais doit quelquefois utiliser provisoirement un dissipateur de chaleur quand il travaille sur un circuit (**fig. 22**). Par exemple, pendant une opération de soudage et de désoudage, il est quelquefois nécessaire d'éliminer la chaleur produite par le fer à souder ou à dessouder. On pourra alors utiliser une simple pince crocodile comme dissipateur de chaleur provisoire pour dissiper la chaleur.

Exercice de contrôle 3

Vous allez maintenant faire une pause pendant quelques minutes et revoir quelques points-clés sur les compteurs, générateurs à impulsions et accessoires des équipements d'essai avant de répondre à l'examen personnel. Comparez ensuite vos réponses aux nôtres et révisez, au besoin, les notions qui ne vous sont pas claires.

Vos réponses

1. Comment appelez-vous le temps, en microsecondes, pendant lequel l'amplitude d'une impulsion est à sa valeur maximale? **1.** _____

2. Comment appelez-vous le rapport entre les impulsions d'entrée et les impulsions de sortie dans le circuit d'un compteur électronique? **2.** _____

   A. Rapport entrée/sortie
   B. Facteur de proportionnalité
   C. Taux d'impulsions
   D. Taux de complétion

3. Vrai ou faux? Le compteur ci-dessous enregistre les résultats dans le système décimal. **3.** Vrai Faux
   (Encerclez la bonne réponse.)

4. Un ondemètre à absorption ne donne qu'une valeur approximative d'une radiofréquence, car l'ondemètre absorbe une faible quantité de l'_____ du circuit étudié. **4.** _____

5. Un accessoire d'équipement d'essai donnant un enregistrement permanent des événements se nomme _____. **5.** _____

Réponses aux questions de l'exercice de contrôle 3

1. Durée de l'impulsion — Section 21
2. B. Facteur de proportionnalité — Section 23
3. Vrai — Section 23, Fig. 16
4. énergie — Section 25
5. enregistrer sur papier — Section 27

Annexe

Caractéristiques techniques du multimètre numérique John Fluke Mfg. Co., Inc., Modèle 8024A

TABLEAU 1-2. — Caractéristiques techniques

CARACTÉRISTIQUES ÉLECTRIQUES:

Les caractéristiques électriques suivantes supposent un étalonnage annuel et une température de fonctionnement de 18 à 28°C (64° à 82°F), pour une humidité relative inférieure à 90 %, sauf mention contraire.

FONCTIONS: Volts continus, volts alternatifs, intensité en courant continu, intensité en courant alternatif, résistance, essai de diodes, conductance, température, mémoire de crête, essai de coupure et détection de niveau.

TENSION CONTINUE:

GAMME	RÉSOLUTION	PRÉCISION SUR un an
± 200 mV	100 µV	± (0,1 % de la lecture + 1 chiffre)
± 2 V	1 mV	
± 20 V	10 mV	
± 200 V	100 mV	
± 1000 V	1 V	

Temps de réponse: inférieur à 1 seconde.
Protection contre les surtensions: 1000 V en courant continu ou crête en courant alternatif sur toutes les gammes sauf 200 mV (15 secondes maximum au-delà de 300 V en courant continu ou efficace).
Impédance d'entrée: 10 MΩ, toutes gammes.
Taux de réjection en mode normal: > à 60 dB à 50 et 60 Hz.
Taux de réjection en mode commun : (déséquilibre : 1 kΩ): > 100 dB en courant continu, 50 Hz et 60 Hz.

Courtoisie de John Fluke Mfg. Co., Inc.

TABLEAU 1-2. — Caractéristiques techniques (suite)

TENSION ALTERNATIVE (Valeur moyenne, onde sinusoïdale étalonnée en valeur efficace):

GAMME	RÉSOLUTION	PRÉCISION		
		45 Hz à 1 kHz	1 kHz à 2 kHz	1 kHz à 5 kHz
200 mV	100 µV	±(0,75 % de la valeur lue +2 chiffres)	±(1,5 % de la valeur +3 chiffres)	±(5 % de la valeur lue +5 chiffres)
2 V	1 mV			
20 V	10 mV			
200 V	0,1 V			Non spécifiée
750 V	1 V	±(1 % de la valeur lue +2 chiffres)	Non spécifiée	

Temps de réponse: inférieur à 2 secondes.
Protection contre les surcharges: 750 V efficaces ou 1000 V tension de crête continue, sauf les gammes 200 mV en c.a. (15 secondes maximum au-delà de 300 V eff.).
Taux de réjection en mode commun: (déséquilibre 1 k Ω): > 60 dB à 50 Hz et 60 Hz.
Produit Volt-Hz: 10^7 max (200 V à 50 kHz).
Impédance d'entrée: 10 MΩ en parallèle sur < 100 pF.

INTENSITÉ EN COURANT CONTINU:

GAMME	RÉSOLUTION	PRÉCISION sur 1 an	TENSION DE CHARGE
2 mA	1 µA	±(0,75 % de la valeur lue +1 chiffre)	0,25 V max
20 mA	10 µA		
200 mA	100 µA		
2000 mA	1000 mA		0,9 V max

Temps de réponse: inférieur à 1 seconde.
Protection contre les surchages: fusible 2A/250 V en série avec un fusible 3A/600V.

Courtoisie de John Fluke Mfg. Co., Inc.

TABLEAU 1-2. — Caractéristiques techniques (suite)

CONDUCTANCE:*

Gamme: 200 nS
Gamme de résistance équivalente: 5 MΩ à 10 000 MΩ
Précision: ±(2,0 % de la valeur lue + 10 chiffres)
Résolution: 0,05 % de la gamme (10^{-10} S)
Protection contre les surcharges: 500 V c.c./c.a. eff.
Essai de diode: polarisation d'une jonction typique PN dans le sens direct.

* La conductance est l'inverse des ohms (1/Ω). Elle est exprimée en Siemens (S). Une diminution de la conductance équivaut à une augmentation de la résistance.

MÉMOIRE DE CRÊTE: sert à mesurer les signaux transitoires

FONCTIONS, GAMMES	TENSIONS OU COURANT C.C. OU C.A. TOUTES GAMMES
COURANT ALTERNATIF Précision (48-450 Hz)	3 % de la valeur lue + 10 chiffres, toutes gammes (sauf 2 mA, 6 % de la valeur lue + 10 chiffres). Valeur moyenne étalonnée de façon à donner la valeur efficace maximale d'une onde sinusoïdale.
Temps de saisie	150 ms**
COURANT CONTINU Précision	3 % de la valeur lue + 10 chiffres, impulsions positives.
Temps de saisie	10 ms**, impulsions carrées (carré de 3 ms ou 8 ms pour une demi-sinusoïde).
Vitesse de disparation de l'affichage	< 1 chiffre/seconde.

** Le temps de saisie est la durée minimale du *pic* ou de l'impulsion, pour la précision nominale.
La précision augmente quand la durée du *pic* est plus longue.

TEMPÉRATURE (un thermocouple est nécessaire en accessoire)

Détecteur de température	Thermo-couple type-K (Chromel-Alumel). (Voir la liste des accessoires.)
Gamme:	−20°C à +1265°C
Résolution:	1°C

Courtoisie de John Fluke Mfg. Co., Inc.

TABLEAU 1-2. — Caractéristiques techniques (suite)

INTENSITÉ EN COURANT ALTERNATIF:

GAMME	RÉSOLUTION	PRÉCISION sur un an		TENSION DE CHARGE
		45 Hz à 450 kHz	450 Hz à 1 kHz	
2 mA	1 µA	± (3 % de la valeur lue + 2 chiffres)	Non spécifiée	0,25 V eff. max.
20 mA	10 µA	± (1,5 % de la valeur lue + 2 chiffres)		
200 mA	100 µA			
2000 mA	1 mA			09, V eff. max.

Temps de réponse: inférieur à 2 secondes.
Protection contre les surcharges: fusible 2A/250 V en série avec un fusible 3A/600V.

RÉSISTANCE:

GAMME	RÉSOLUTION	PRÉCISION sur un an	TENSION MAXIMALE	INTENSITÉ MAXIMALE DU COURANT D'ESSAI
200 Ω	0,1 Ω	± (0,02 % de la valeur lue + 3 chiffres)	< 0,25 V	0,35 mA
2 kΩ ⊣▶⊢	1 Ω	± (0,1 % de la valeur lue + 1 chiffre)	> 1,0 V	1,1 mA
20 kΩ	10 Ω		< 0,25 V	13 µA
200 kΩ ⊣▶⊢	100 Ω		> 0,7 V	13 µA
2000 kΩ	1 kΩ	± (0,15 % + 1 chiffre)	< 0,25 V	0,13 µA
20 MΩ ⊣▶⊢	10 kΩ	± (2 % de la valeur lue + 1 chiffre)	> 0,7 V	0,13 µA

Protection contre les surcharges: 500 V en c.c./c.a. eff. sur toutes les gammes.
Tension en circuit ouvert: inférieure à 1,5 V sur touts les gammes sauf 2 kΩ si moins de 3,5 V.
Essai de diode: Les trois gammes portant le symbole «diode» ont une tension en circuit ouvert suffisante pour mettre en conduction les jonctions au silicium autorisant un essai de diode. On préfère la gamme 2 kΩ qui possède un symbole diode plus grand. Les trois gammes sans essai de diode ne mettent pas en conduction les jonctions au silicium quand on effectue des mesures de la résistance sur le circuit.

Courtoisie de John Fluke Mfg. Co., Inc.

TABLEAU 1-2. — Caractéristiques techniques (suite)

TEMPÉRATURE (suite)

Précision	±3°C ±1 chiffre, −20° à +300°C 3 % de la valeur lue, + 300 à 1265°C (La précision comprend la conformité aux normes NBS, la stabilité à l'étalonnage, le zéro et la jonction de référence, mais non les erreurs au niveau du thermocouple.)
Raccordement	Double borne banane isothermique livrée avec les thermocouples FLUKE. Utiliser un accessoire de bornes Y8104 pour tout thermocouple du type K.
Protection contre les surcharges	Fusible 2A/250 V en série avec un fusible 3A/600 V.

ESSAI DE COUPURE Utilisation pour l'essai des circuits passifs*

Gammes	Toutes les gammes de résistances et de conductances
Indication	Circuit ouvert: «▲» À l'affichage Continuité: «▼» À l'affichage + signal acoustique 2 kHz (sélectionnable)
Temps de réponse (2 kΩ)	50 µs (Durée minimale entre la détection de la continuité ou du circuit ouvert et l'arrivée à l'affichage ou l'émission d'un signal acoustique. Le correcteur de formes mémorise l'affichage et le signal acoustique pendant environ 100 ms).
Protection contre les surcharges	500 V continu ou eff. (toute gammes).

* Voir la section 2 pour des informations supplémentaires

DÉTECTEUR DE NIVEAU: pour l'essai des circuits actifs

Niveau de référence	+0,8 V continu nominal sur la gamme de 200 kΩ
Affichage	«▲» pour entrées supérieures au niveau de référence. «▼» pour les entrées inférieures au niveau de référence. «◆» pour les entrées utilisées alternativement au dessus et au-dessous du niveau de référence. Signal audio en même temps que «▼» (sélection par sélecteur)

Courtoisie de John Fluke Mfg. Co. Inc.

TABLEAU 1-2. — Caractéristiques techniques (suite)

DÉTECTEUR DE NIVEAU (suite)

Réponse en impulsion (Gamme 200 kΩ)	50 µs (largeur minimale de l'impulsion 0 à 3 V permettant l'affichage: le correcteur de forme conserve l'affichage pendant environ 100 ms quand la détection porte sur des impulsions de faible durée.)
Impédance d'entrée	> 100 kΩ en parallèle sur < 100 pF.
Protection contre les surcharges	500 V continu ou eff.

CONDITIONS AMBIANTES:

Température: de 0 à 50°C (32°F à 122°F). Température de stockage – 35 à 60°C.
Humidité relative: 0 à 90 % entre 0°C et 35°C excepté de 0 à 80 % entre 0°C et 35°C sur les gammes 2 MΩ, 20 MΩ et 200 nS, 0 à 70 % entre 35°C et 50°C.
Coefficient de température: à 0,1 fois la précision spécifiée par °C entre 0 et 18°C et 28 à 50°C (entre 32 et 64,4°F, et 82,4 à 122°F, sauf pour la température (précision inférieure à 0,02 X précision par °C)

CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES

Classe de protection 2: (se rapporte uniquement aux propriétés d'isolation et de mise à la terre définies dans IEC 348).
Tension maximale en mode commun: 500 V continu ou eff.
Alimentation: pile unique de 9 V, NEDA 1604
Durée de la pile: alcaline: 100 heures (durée typique) Zinc-carbone: 50 heures (valeur typique)
Indicateur de charge de piles: «BT» s'allume à l'affichage quand il reste encore environ 20 % de la durée de vie.
Affichage: cristaux liquides à 3½ chiffres (jusqu'à 1999), zéro automatique, polarité automatique.
Dimensions: Longueur 18,0 cm × Largeur 8,6 cm × Hauteur 4,5 cm
(7,1 × 3,4 po × 1,8 po)
Poids: 480 g (17 oz)

Courtoisie de John Fluke MFg. Co., Inc.

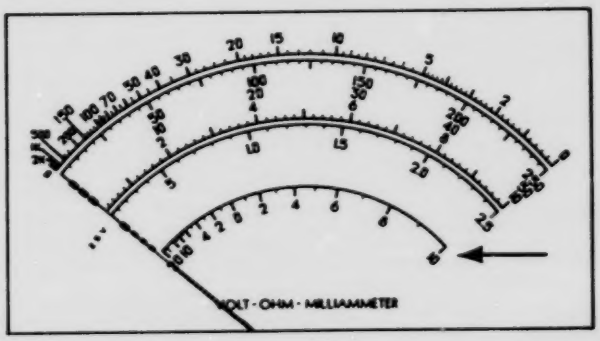
Examen personnel

Lisez attentivement chacune des phrases suivantes et assurez-vous que vous en comprenez bien le sens. Chaque phrase est suivie de quatre mots ou groupes de mots dont un seul est correct. Faites un X sur la lettre correspondant à votre réponse.

1. Si vous voyez sur un multimètre du type volt-ohm-ampères la marque 20 000 Ω/V, elle indique:

   A. la sensibilité en intensité.
   B. la sensibilité de l'aiguille.
   C. la sensibilité en tension.
   D. la sensibilité en résistance.

2. Sur le cadran ci-dessous, la flèche indique l'échelle _____.



   A. des tensions continues.
   B. des décibels.
   C. de l'intensité en courant continu
   D. des résistances.

3. Pour effectuer des mesures avec un multimètre on doit:

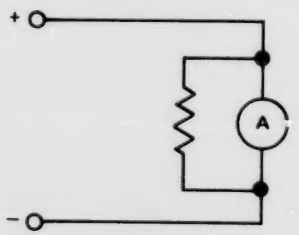
   A. manipuler des fils de raccordement sous tension élevée.
   B. commencer les mesures de tension sur une gamme correspondant à une faible tension.
   C. effectuer les raccordements quand le circuit est sous tension.
   D. couper l'alimentation avant de mesurer des résistances.

4. Sur les quatre multimètres ci-dessous, lequel affiche la tension, l'intensité ou la résistance sous la forme d'un ensemble de chiffres, et non sous la forme d'une valeur indiquée par une aiguille sur une échelle?

   A. VTVM
   B. TVOM
   C. DMM
   D. FET VOM

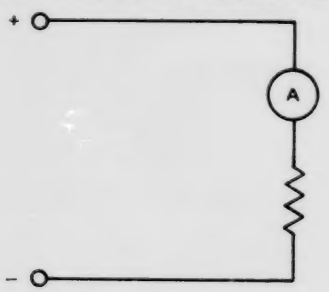
5. Le montage présenté ici augmente la gamme d'un ampèremètre. La résistance s'appelle ici:

   A. une résistance de limitation.
   B. une résistance multiplicatrice.
   C. un convertisseur.
   D. un shunt.

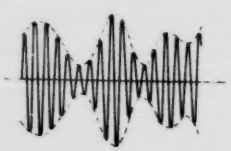


6. La disposition de la résistance dans le circuit ci-dessous transforme l'ampèremètre en:

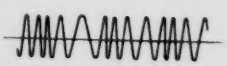
   A. volmètre.
   B. wattmètre.
   C. VOM.
   D. DMM.

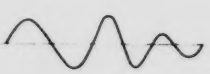


7. Parmi les formes d'ondes suivantes, laquelle est modulée en fréquence?

   A.


   C.

   B.


   D.


8. Si les impulsions ou variations brusques de l'intensité ou de la tension apparaissent selon une fréquence définie, il s'agit:

   A. de l'amplitude des impulsions
   B. du taux de répétition des impulsions
   C. de la durée des impulsions
   D. de l'apparition des impulsions

9. Si vous utilisez un générateur de signaux, et si vous observez que votre réglage initial a changé, comment appelez-vous ce phénomène?

   A. Un accord
   B. Une impulsion
   C. Une amplitude
   D. Une dérive

10. Quand vous dessoudez un transistor d'un circuit électrique, vous devez utiliser un(une) _____ pour évacuer la chaleur du circuit.

    A. charge thermique
    B. dissipateur de chaleur
    C. thermo-panne
    D. thermo-couple

Vous trouverez les réponses à la page 308.

Appareils de mesure polyvalents

BF0102

(Lexiques)

Français	Anglais
Affichage	Display
Alimentation	Power supply
Balayage	Sweep
Blindé	Shielded
Cadran à miroir	Mirrored scale
Casque d'écoute	Headphone
Commutateur de gammes	Range switch
Courbe de réponse	Response curve
Détecteur de continuité	Continuity tester
Échelle	Scale
Entréé analogique	Analog input
Équipage mobile	Movement
Étape d'entrée	Input stage
Étalonnage	Calibration
Fiche	Jack
Fil de terre	Ground lead
Gamme	Range
Générateur d'impulsions	Pulse generator
Générateur de marquage	Marker generator
Générateur de signaux	Signal generator
Glissement de fréquence	Frequency shift
Impédance d'entrée	Input impedance
Large bande (A)	Wide band
Lecture	Readout
Longueur d'onde	Wavelength
Multimètre à transistors (TVOM)	TVOM
Multimètre à transistors, à effet de champ	FET VOM
Multimètre numérique (DMM)	DMM
Onde	Wave
Onde carrée	Square wave
Ondes en dents de scie	Sawtooth waves
Rapport signal/bruit	Signal to noise ratio
Ronflement	Humming noise
Sélecteur de fonctions	Function switch
Sélecteur de gammes	Range switch
Shunt	Shunt
Signal porteur	Carrier signal
Sonde	Probe
Tachymètre	Speedometer
Tension de fonctionnement	Operating voltage
Valeur de pointe (ou crête)	Peak value
Vu-mètre	Volume unit

Anglais	Français
Analog input	Entrée analogique
Calibration	Étalonnage
Carrier signal	Signal porteur
Continuity tester	Détecteur de continuité
Display	Affichage
DMM	Multimètre numérique (DMM)
FET VOM	Multimètre à transistors, à effet de champ
Frequency shift	Glissement de fréquence
Function switch	Sélecteur de fonctions
Ground lead	Fil de terre
Headphone	Casque d'écoute
Humming noise	Ronflement
Input impedance	Impédance d'entrée
Input stage	Étape d'entrée
Jack	Fiche
Marker generator	Générateur de marquage
Mirrored scale	Cadran à miroir
Movement	Équipage mobile
Operating voltage	Tension de fonctionnement
Peak value	Valeur de pointe (ou crête)
Power supply	Alimentation
Probe	Sonde
Pulse generator	Générateur d'impulsions
Range	Gamme
Range switch	Commutateur de gammes
Range switch	Sélecteur de gammes
Readout	Lecture
Response curve	Courbe de réponse
Sawtooth waves	Ondes en dents de scie
Scale	Échelle
Shielded	Blindé
Shunt	Shunt
Signal generator	Générateur de signaux
Signal to noise ratio	Rapport signal/bruit
Speedometer	Tachymètre
Square wave	Onde carrée
Sweep	Balayage
TVOM	Multimètre à transistors (TVOM)
Volume unit	Vu-mètre
Wave	Onde
Wavelength	Longueur d'onde
Wide band	Large bande (A)

Appareils de mesure à pont

BF0103

Appareils de mesure à pont

Objectifs d'enseignement

Au fur et à mesure que vous vous spécialisez en électronique, les différents travaux d'installation, d'entretien et de dépannage que vous devrez effectuer pourront exiger des essais de très grande précision. Vous pourrez aussi devoir examiner des signaux électriques en différents points des composants électroniques, et les comparer à des étalons connus.

Dans le premier chapitre, nous étudierons le mode de fonctionnement des appareils de mesure à pont et expliquerons comment mesurer la résistance, l'inductance et la capacité. Dans le deuxième chapitre, nous étudierons les générateurs de signaux, qui fournissent des signaux de référence servant à la vérification des composants électroniques dans les systèmes de régulation industriels, les ordinateurs et les équipements de télécommunications. Peut-être vous demandez-vous quelle relation existe entre ce type d'appareil et les montages en pont. Vous verrez toutefois que l'utilisation de générateurs de signaux en conjonction avec des analyseurs de signaux fait appel au même principe que les circuits en pont, principe consistant à faire correspondre une grandeur inconnue à un étalon connu.

À la fin de ce cours, vous devriez être en mesure:

- *D'expliquer comment fonctionne un montage en pont dans un appareil de mesure.*
- *De décrire les différents types de générateurs de signaux.*
- *De discuter du mode d'utilisation d'un analyseur de distorsion.*
- *D'expliquer le principe de la mesure par ondes réfléchies (radars, sonars, etc.).*

Table des matières

Principes des montages en pont

Mesures en pont	121
Pont de Wheatstone	122
Équilibrage du pont	123
Rapports de pont	125
Coefficients multiplicateurs	126
Pont de Kelvin	126
Potentiomètres	127
Mesure des inductances	129
Rephasage	131
Circuit anti-capacitif de Wagner	131
Mesure de la capacité	132
Pont d'impédances	133
Facteur Q (inductance)	134
Facteur Q et facteur de dissipation d'un condensateur)	134
Exercice de contrôle 1	136

Systèmes générateurs et détecteurs de signaux

Générateurs de signaux	137
Générateurs de signaux A.F.	138
Générateurs de signaux R.F.	138
Formes d'ondes	139
Générateurs d'impulsions	139
Analyseurs de signaux	140
Distorsion	142
Distorsiomètre	143
Analyseur d'onde	144
Chercheur de parasites	144

Analyseur de spectre 145
Radars et sonars 146
Exercice de contrôle 2 148

Examen personnel 149

Lexiques 151

Principes des montages en pont

1 Mesures en pont

Les appareils à pont servent à effectuer des mesures électriques en comparant une valeur inconnue d'un composant à une valeur connue d'un autre composant du même type.

Vous connaissez certainement la balance qui sert à effectuer des pesées (**fig. 1**). Elle fonctionne comme le jeu de bascule: si la quantité inconnue mesurée est plus légère ou plus lourde que la quantité connue à laquelle elle est comparée, la balance n'est pas en équilibre. Ce n'est que lorsque les poids se trouvant sur les deux plateaux de la balance sont égaux qu'il y a équilibre (exactement comme pour le jeu de bascule, qui n'est en l'équilibre que si les enfants ont exactement le même poids).

Un appareil de mesure à pont est analogue à une balance: il permet de comparer une valeur inconnue à une valeur connue; ou encore, plus précisément, une valeur électrique inconnue à une autre valeur électrique bien connue. Les appareils à pont sont utilisés pour de nombreuses mesures: tension, intensité, capacité, inductance, réactance et impédance (c'est-à-dire l'opposition au passage du courant alternatif). Vous allez d'abord apprendre comment ces appareils mesurent une résistance. En effet, c'est peut-être là le moyen le plus simple de bien comprendre le principe des appareils de mesure.

Soit dit en passant, nous allons revoir quelques-unes des règles et quelques-uns des calculs concernant les résistances en parallèle et en série. En effet, vous les avez étudiés il y a un certain temps et peut-être les avez-vous un peu oubliés. Il est bon de vous rafraîchir un peu la mémoire, afin de mieux comprendre comment fonctionne un pont de mesure.

Vous vous rappelez la règle des résistances montées en série: la résistance totale est toujours égale à la somme des résistances individuelles. **Rappelez-vous aussi que, pour qu'un courant électrique puisse traverser une résistance, il doit exister entre les bornes (ou extrémités) de cette résistance une différence de potentiel. Pas de différence de potentiel, pas de courant!**

Fig. 1. La balance est un système simple de mesure des poids. Le principe de l'équilibre, ou principe de comparaison, est souvent utilisé dans les appareils de mesure électrique et électronique qui comparent une grandeur électrique inconnue à une grandeur électrique connue.

Par ailleurs, dans un montage parallèle, les résistances arrivent aux deux bornes et une tension appliquée crée un courant qui se subdivise entre les composants. Ce courant pouvant prendre plusieurs trajets, l'intensité du courant qui circule dans chaque branche du circuit est, dans chaque cas, déterminée par la résistance de cette branche. Rappelez-vous que le courant électrique emprunte toujours le chemin de moindre résistance.

Vous vous rappelez aussi la règle qui permet de déterminer la résistance totale des montages parallèle dans lesquels chacune des branches a la même résistance: la résistance totale R_T de plusieurs résistances en parallèle, de résistance identique, est égale à la résistance de l'une des branches, divisée par le nombre des résistances montées en parallèle.

Si vous avez deux résistances R_1 et R_2 distinctes montées en parallèle, R_T est fournie par la formule:

$$R_T = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$

Par exemple, si une résistance de 3 Ω (ohm; Ω est la lettre grecque oméga) est montée en parallèle sur une résistance de 6 Ω, la formule précédente fournit:

$$R_T = \frac{3 \times 6}{3 + 6} = \frac{18}{9} = 2\ \Omega$$

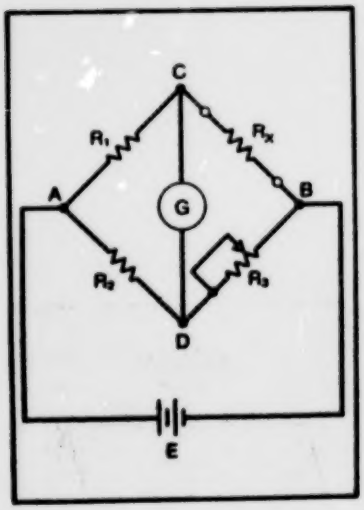


Fig. 2. Le pont de Wheatstone permet de mesurer avec précision des valeurs de résistance à l'aide de résistances parfaitement connues disposées dans trois branches du montage, la résistance inconnue occupant la quatrième branche. L'équilibrage électrique du pont permet de déterminer la résistance inconnue en fonction des trois autres.

2 Pont de Wheatstone

Le *pont de Wheatstone* permet de comparer facilement une résistance inconnue à une résistance connue. **C'est une méthode assez précise, mais de moins en moins utilisée de nos jours, pour déterminer la résistance d'un composant.**

La **figure 2** montre un pont de Wheatstone. Les composants de ce pont de *résistances* comprennent trois branches à résistances connues R_1, R_2 et R_3, un ampèremètre de grande sensibilité G, une

batterie et des bornes auxquelles la résistance *inconnue* R_x peut être branchée. R_1 et R_2 sont habituellement des résistances de précision, et R_3 est une résistance variable ayant subi un étalonnage de grande précision. La **figure 3** montre une autre version du même montage.

L'ampèremètre installé entre les points *C* et *D* est habituellement un galvanomètre de haute sensibilité, à zéro central (un galvanomètre est un ampèremètre qui mesure de très faibles intensités). **En l'absence de courant, l'aiguille reste au zéro.** Quand l'appareil est traversé par un courant, l'aiguille dévie, d'un côté ou de l'autre du zéro, selon la direction du courant. L'importance de la déviation est proportionnelle à l'intensité du courant qui circule dans le galvanomètre (ou un autre appareil de même type).

Quand on utilise un pont de Wheatstone, l'objectif est d'«équilibrer» le pont. Il faut faire en sorte qu'il n'y ait aucun courant passant entre les points *C* et *D*, l'aiguille du galvanomètre étant alors au zéro. Si vous réfléchissez à ce problème, vous voyez que, si l'on ne veut aucun courant entre les points *C* et *D*, il ne doit y avoir non plus aucune différence de potentiel entre ces deux points. **Le concept de base d'un appareil de mesure à pont est donc l'équilibrage des résistances: cet équilibrage a pour but de rendre nulle la différence de potentiel entre les points *C* et *D*, ce qui supprime tout courant passant à travers l'ampèremètre.** Quand cet équilibre est atteint, on doit lire la valeur zéro sur le galvanomètre.

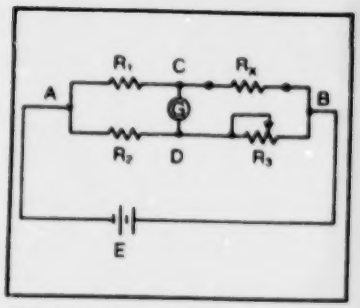


Fig. 3. La figure 2 montrait la configuration classique d'un pont de Wheatstone en quadrilatère. Le schéma représenté ci-dessus est un peu plus facile à comprendre: vous voyez que le bras du circuit parallèle formé par R_2 et R_3 doit avoir une résistance égale à celle du bras formé par R_1 et R_x.

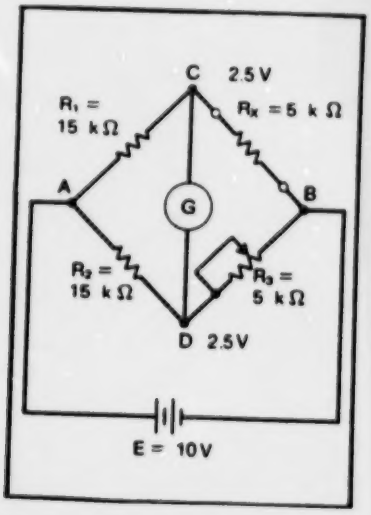


Fig. 4. Ce pont de Wheatstone est équilibré. Cela signifie qu'aucun courant ne circule dans le galvanomètre *G* monté entre les points *C* et *D*, car il n'y a aucune différence de potentiel entre ces deux points.

3 Équilibrage du pont

Étudions la **figure 4**: R_1 et R_X sont en série, R_2 et R_3 sont aussi en série. Dans toute branche en série, la tension appliquée totale se subdivise entre les résistances. **La part de la tension «prise» par chaque résistance est directement reliée au rapport entre cette résistance et la résistance totale.** La tension aux bornes d'une résistance se trouvant dans un circuit en série est donc simplement une fraction de la tension totale *E*.

Supposons par exemple que, sur la figure 4, R_1 et R_2 vaillent 15 000 Ω, ou 15 kΩ (kilohms; $k = kilo = 1\,000 = 1 \times 10^3$), et que les résistances R_3 et R_X vaillent 5 000 Ω (5 kΩ). On pourra alors calculer les tensions aux bornes C et D (par rapport à la borne B):

$$\frac{R_3}{R_2 + R_3} \times E = \frac{5}{15 + 5} \times 10$$

$$= \frac{5}{20} \times 10$$

$$= 2{,}5 \text{ V(volts)}$$

et

$$\frac{R_X}{R_1 + R_X} \times E = \frac{5}{15 + 5} \times 10$$

$$= 2{,}5 \text{ V}$$

Comme il n'y a aucune différence de potentiel entre les bornes C et D, aucun courant ne circule dans le galvanomètre G installé au centre du pont. Le pont est équilibré. Et comme le pont est équilibré, on sait que la résistance inconnue R_X est exactement la même que la résistance connue R_3, soit 5 kΩ, dans notre exemple.

Supposons maintenant que R_X, dans notre exemple, vaille 15 kΩ, alors que R_3 reste à 5 kΩ. Le pont est alors déséquilibré. La tension positive en D est toujours de +2,5 V. Mais R_1 et R_X sont maintenant égaux, et montés en série avec la batterie de 10 V. On a en D la tension suivante:

$$\frac{R_X}{R_1 + R_X} \times 10 = \frac{15}{15 + 15}$$

$$= \frac{15}{30} \times 10$$

$$= 5 \text{ V}$$

Observer que la borne C est à une tension positive de 2,5 V par rapport à la borne B, et que la borne D est à une tension positive de 5 V par rapport à la borne B. En effet, D est à une tension positive de 2,5 V par rapport à C. Le courant (flux électronique) circule donc de la borne D à la borne C en passant par le galvanomètre G, puisque le pont est *déséquilibré*.

Si la résistance inconnue R_X est inférieure à 5 kΩ (et R_3 vaut toujours 5 kΩ), le pont est toujours en déséquilibre. Mais, dans ce cas, la chute de tension aux bornes du centre du pont (et donc du galvanomètre) se fait dans l'autre sens.

Dans un pont de Wheatstone réel (**fig. 5**), R_3 est une résistance variable de valeur connue. On augmente la résistance jusqu'à ce que le galvanomètre indique zéro. On a alors l'équilibre du pont. En d'autres termes, on sait que la résistance inconnue est égale à la résistance R_3. Et comme il y a toujours moyen de déterminer l'étalonnage de la résistance variable R_3 sur un appareil réel (échelle, cadran, etc.), la lecture de la résistance variable R_3 donne la résistance inconnue R_X.

Courtoisie de James G. Biddle Company

Fig. 5. La plupart des ponts de Wheatstone disponibles dans le commerce comprennent un galvanomètre incorporé, comme celui représenté ci-dessus. Cependant, les ponts de laboratoire font quelquefois appel à un galvanomètre distinct.

4 Rapports de pont

Les ponts disponibles dans le commerce permettent de faire varier le rapport entre la résistance R_1 et la résistance R_2. Cette variation se fait habituellement selon des multiples de 10. Il est ainsi possible de mesurer des résistances dont la valeur est différente de celle de la résistance variable R_3.

La **figure 6** montre un pont équilibré. Vous pouvez vous demander pourquoi ce pont est «équilibré», puisque R_1 et R_2 ne sont pas égaux, de même que R_3 et R_X ne sont pas égaux. Cependant, ce qui compte, c'est le *rapport* entre chaque «bras» du pont. Rappelez-vous que R_1 et R_X sont en série, et que R_2 et R_3 sont elles aussi en série. Si l'on veut donc avoir la même tension aux bornes C et D (pour avoir l'équilibre du pont), il faut que le rapport entre R_1 et R_X soit égal au rapport entre R_2 et R_3.

La formule de base d'un pont équilibré est la suivante:

$$\frac{R_X}{R_1} = \frac{R_3}{R_2}$$

que l'on peut encore écrire:

$$R_X = \frac{R_3 \times R_1}{R_2}$$

La formule fondamentale d'un pont de mesure nous dit que le pont est équilibré quand, dans chaque branche, les rapports entre les résistances sont égaux.

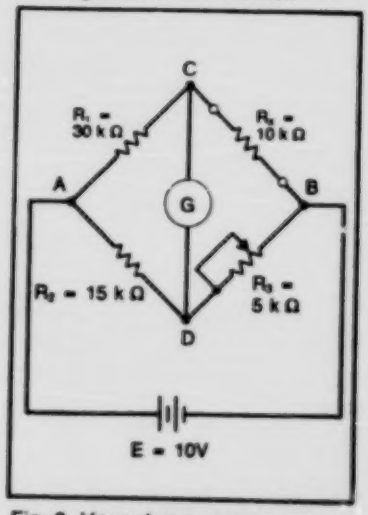


Fig. 6. Vous devez penser, en voyant ce schéma d'un pont de Wheatstone équilibré, que notre dessinateur devait penser à autre chose, puisque les quatre résistances sont inégales. Mais étudiez bien ce dessin: vous verrez qu'il existe un rapport bien précis entre R_4 et R_1 d'une part, entre R_3 et R_2 d'autre part.

5 Coefficients multiplicateurs

Un coefficient multiplicateur nous permet d'utiliser un pont pour mesurer des résistances élevées. En fait, c'est justement de cette manière que l'on peut augmenter la gamme d'un appareil à pont.

Par exemple, si les résistances R_1 et R_2 sont égales, nous savons que le coefficient multiplicateur est 1, puisque R_3 doit être égal à R_X pour équilibrer le pont. Mais supposons que R_1 soit égale à 10 fois R_2. La résistance inconnue R_X doit donc être dix fois plus élevée que la résistance R_3 pour équilibrer le pont.

Vous vous êtes certainement rendu compte qu'il est souvent utile de connaître une valeur approximative de la résistance R_X (à l'aide d'un appareil d'un autre type, par exemple un ohmmètre) avant de la mesurer avec exactitude à l'aide d'un pont de Wheatstone. Les fabricants de ponts de Wheatstone commerciaux fournissent habituellement avec l'appareil un tableau qui recommande certains réglages du cadran des coefficients multiplicateurs, sur la base des valeurs approximatives déterminées par d'autres moyens. Ce tableau peut faire gagner beaucoup de temps.

6 Pont de Kelvin

Vous risquez de rencontrer de graves difficultés si vous voulez utiliser un pont de Wheatstone pour mesurer une faible résistance (inférieure à 1 Ω). Les fils de jonction possèdent une certaine résistance, de même que les contacts sales ou autres mauvais contacts au niveau des points de jonction à l'intérieur du pont de Wheatstone; il en résulte une erreur qui peut souvent dépasser la résistance mesurée. En outre, quand le pont de Wheatstone est constitué d'éléments de faible résistance, les chutes de tension en jeu sont tellement faibles que les déviations de l'aiguille du galvanomètre ne sont observables que quand le pont est loin de l'équilibre.

On peut éviter ces difficultés en utilisant le *pont de Kelvin*. Il s'agit d'une variante du pont de Wheatstone, spécialement adaptée à une comparaison précise des faibles résistances. Pour minimiser la résistance des contacts, le pont de Kelvin possède deux bornes de courant et deux bornes de potentiel (de tension). (Le composant à tester doit lui aussi posséder deux bornes de courant et deux bornes de potentiel.) **Un pont de Kelvin minimise la résistance associée aux fils de connexion et aux mauvais contacts au niveau des**

points de jonction. Pour cela, il rend ces résistances négligeables par rapport à la résistance totale du circuit.

Un pont de Kelvin utilise la même équation que le pont de Wheatstone:

$$R_X = \frac{R_3 \times R_1}{R_2}$$

Il convient de se reporter aux instructions du manuel d'utilisation livré avec le pont de Kelvin, manuel qui donne les instructions de montage et d'équilibrage du modèle que vous utilisez. Toutefois, dans toutes les marques et tous les modèles, le principe est le même que celui d'un pont de Wheatstone: quand la résistance inconnue R_X est la même que la résistance variable étalonnée R_3, l'indicateur de zéro affiche zéro: le pont est équilibré.

7 Potentiomètres

Un *potentiomètre* est un appareil qui mesure une tension inconnue par comparaison avec une tension étalon connue. Pour vous rappeler la signification de ce mot, il suffit d'observer qu'il est constitué du terme «potentio» (du mot «potentiel»), et du terme «mètre» (appareil de mesure). Le mot «potentiomètre», souvent abrégé en «pot» dans les textes de langue anglaise, sert généralement à désigner la résistance variable utilisée dans certaines applications courantes, comme le réglage de puissance de votre poste de radio ou de télévision. Les principes de base de cet appareil de mesure et du dispositif de réglage sont les mêmes, mais nous allons étudier surtout le potentiomètre comme instrument de mesure.

L'une des principales utilisations d'un potentiomètre concerne l'étalonnage précis d'autres appareils. On peut utiliser directement un potentiomètre pour la mesure des tensions. On peut aussi l'utiliser pour mesurer une intensité: pour cela, on mesure la chute de tension aux bornes d'un shunt de résistance connue. Il peut aussi être utilisé dans un circuit en marche, ou pour étalonner d'autres appareils de mesure, comme des ampèremètres ou des voltmètres.

Pour que des mesures électriques soient précises, elles doivent se fonder sur des étalons précis. Les étalons primaires utilisés dans les mesures électriques sont la pile étalon et les résistances étalons. Une pile étalon est une pile qui donne une tension constante et rigoureusement définie dans certaines conditions. Les résis-

tances étalons sont destinées au passage d'un courant d'intensité constante et rigoureusement définie, et à la création d'une chute de tension connue. Ces étalons primaires ont subi des essais approfondis pour ce qui est de leur précision. Ils sont destinés à servir à l'étalonnage des *étalons secondaires, ou étalons de travail*, et ne doivent pas servir comme dispositifs de mesure courants.

Comme nous l'avons dit plus haut, un potentiomètre est un appareil qui mesure une tension inconnue par comparaison avec une tension étalon connue. Il s'agit donc d'un genre de montage en pont, car il utilise le principe consistant à faire correspondre une quantité connue à une quantité inconnue jusqu'à l'équilibre.

La **figure 7** montre le circuit fondamental d'un potentiomètre à curseur.

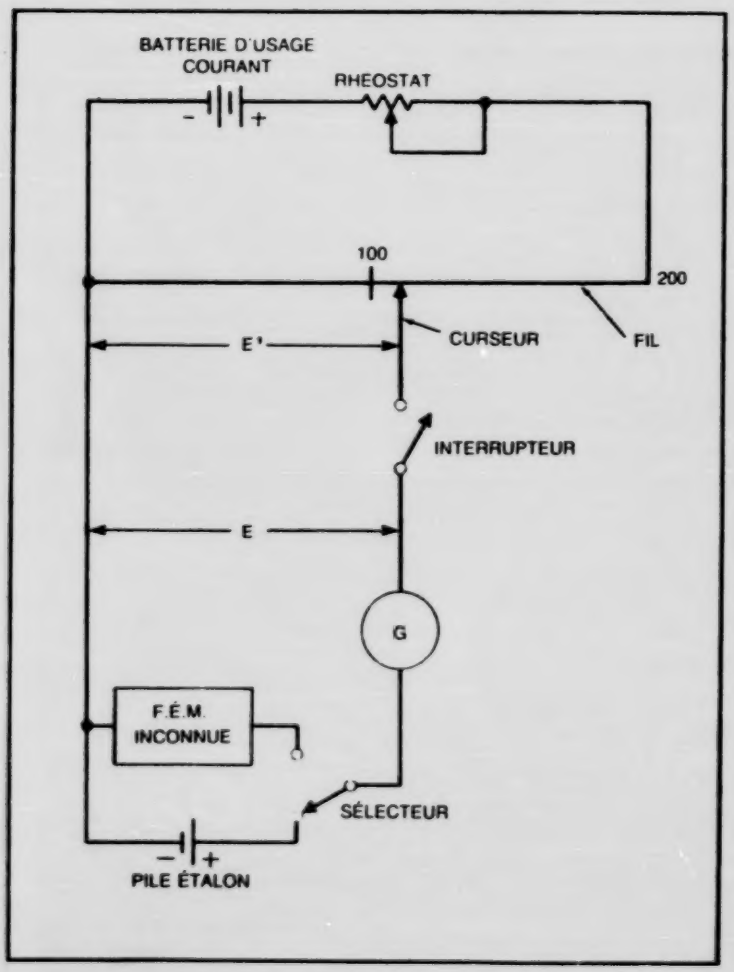


Fig. 7. Circuit de base d'un potentiomètre à curseur. Certains potentiomètres utilisent des résistances distinctes (que l'on peut choisir à l'aide d'un sélecteur) à la place d'un curseur, ou une combinaison de résistances distinctes.

La méthode du potentiomètre pour mesurer une tension consiste à placer le curseur sur le fil de façon à ce que le galvanomètre affiche zéro quand le circuit est fermé. Une aiguille au zéro signifie que la f.é.m. (force électromotrice) E est équilibrée par une chute de tension de même valeur à la position du curseur, en d'autres termes, on a $E = E'$.

Pour évaluer la f.é.m. inconnue E, il suffit maintenant d'évaluer E'. Pour cela, on étalonne le curseur (habituellement, par comparaison avec une pile étalon), de façon que chaque position particulière corresponde à une valeur précise.

Quand le circuit est équilibré, aucun courant n'est prélevé de la source mesurée. On peut alors déterminer la tension indépendamment de sa résistance interne (le seul effet qu'aurait une résistance élevée serait de réduire la sensibilité du galvanomètre en cas de déséquilibre).

Tout comme les autres appareils de mesure à pont, le potentiomètre détermine des *rapports*. Une tension inconnue est comparée à une tension de référence: on mesure la valeur de la tension inconnue à l'aide du *rapport* entre les résistances nécessaires à l'équilibrage des deux tensions.

Enfin, avant d'utiliser un potentiomètre, il faut bien lire le manuel d'instructions du fabricant.

8 Mesure des inductances

La méthode du montage en pont, permettant de mesurer la résistance, peut être étendue à la mesure des inductances et des capacités. Le pont présenté sur le diagramme schématique de la **figure 8** se distingue du pont de Wheatstone par deux caractéristiques importantes: la batterie est remplacée par une source de courant alternatif, et le galvanomètre est remplacé par un détecteur de courant alternatif (ici, il s'agit d'un casque à écouteurs).

Rappelez-vous vos cours précédents: **l'inductance** est la propriété d'un conducteur ou d'un circuit électrique qui tend à s'opposer (en raison de l'auto-induction) aux variations d'un courant électrique qui le parcourt. Du fait de cette inductance (tous les circuits possèdent une certaine inductance), un circuit s'opposera à toute variation, en particulier à toute variation brutale, de l'intensité du courant qui le parcourt. **L'inductance retarde les variations de l'intensité du courant.**

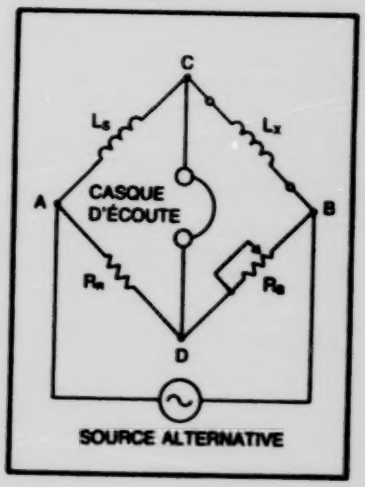


Fig. 8. Schéma d'un pont simple, à courant alternatif, pour la mesure de l'inductance. Tout comme le pont de Wheatstone présenté précédemment, le montage en pont alternatif ci-dessus compare l'intensité des courants qui parcourent deux branches d'un circuit parallèle. Quand les intensités de ces deux branches sont égales, le pont est équilibré.

L'unité d'inductance est le *henry* (abréviation H). La lettre qui désigne l'inductance est *L*. Une inductance de un henry crée une force contre électro-motrice (f.c.é.m.) de un volt quand le courant qui traverse le circuit varie à raison de un ampère par seconde.

Les bobines (aussi appelés inducteurs) peuvent être montées en série ou en parallèle. Si les bobines sont montées en série, les inductances s'ajoutent (tout comme les résistance en série). Si les bobines sont montées en parallèle, l'inductance totale est inférieure à l'inductance la plus faible, comme les résistances montées en parallèle.

Dans la pratique, un circuit possédant une réactance due à une inductance possède aussi habituellement une certaine résistance. On l'appelle circuit *RL*. Vous vous rappelez que l'impédance d'un circuit *RL* correspond à son opposition totale au passage du courant alternatif. On la mesure en ohms. Rappelez-vous aussi que, dans un circuit série, l'impédance *Z* est supérieure à la résistance ou à la réactance X_L *seules*. On utilise la règle des carrés pour déterminer *Z*. La formule est la suivante: $Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$.

Observons de nouveau la figure 8. On utilise la méthode du pont pour mesurer l'inductance. La bobine à tester est montée dans le bras L_X. On monte dans le bras L_S une bobine étalon, d'inductance connue. Une résistance variable étalonnée R_B est installée dans le troisième bras, et le quatrième bras reçoit une résistance «proportionnelle» R_R. Enfin, on installe entre les deux bornes *A* et *B* une source de courant alternatif (audiofréquence), ainsi qu'un casque d'écoute entre les bornes *C* et *D*.

Quand le pont est déséquilibré, il existe une différence de potentiel entre les bornes *C* et *D*, et on entend un son dans le casque (la hauteur du son est déterminée par la fréquence de la source alternative connectée au pont). On fait varier les résistances R_R et R_S jusqu'à suppression de tout son dans le casque. Cela signifie qu'aucun courant ne parcourt le casque: le pont est équilibré. On a alors:

$$\frac{L_X}{L_S} = \frac{R_B}{R_R}$$

où L_X = inductance de la bobine inconnue, en henrys
L_S = inductance de la bobine étalon, en henrys
R_B = valeur de la résistance d'équilibrage, en ohms
R_R = valeur de la résistance proportionnelle, en ohms

9 Rephasage

Quand la résistance de la bobine testée est approximativement égale à sa réactance, sans être égale à la résistance de la bobine étalon, il n'est pas possible de trouver un point d'équilibre exact lors du réglage du pont. **Aux bornes de la bobine inconnue et de la bobine étalon, on peut avoir une tension alternative identique en valeur, mais déphasée.** Le courant et la tension n'auront jamais la même phase des deux côtés du pont (qui est alors déséquilibré).

Si les tensions aux bornes *C* et *D* ne s'annulent pas en même temps, la différence de potentiel aux bornes du casque d'écoute ne sera jamais nulle, et le point d'équilibre ne pourra jamais être atteint. On peut corriger cette situation en rendant la résistance dans le bras L_X égale à la résistance du bras L_S. Pour cela, on **ajoute une résistance variable** entre L_X et L_S (**Fig. 9**). On peut utiliser un sélecteur pour ajouter la résistance nécessaire à L_X ou L_S, de façon à rendre égales les résistances des deux bobines.

Habituellement, un circuit présentant une réactance due à une inductance *L* possède aussi une certaine résistance *R*. Et le déphasage sera d'autant plus faible que sera plus élevée la résistance dans le circuit par rapport à la réactance inductive. Si un circuit R_L possède une résistance égale à sa réactance inductive, l'onde de courant sera en retard par rapport à l'onde de tension de 45°(degrés). Si la résistance est supérieure à la réactance, le déphasage varie entre 0 et 45°; si la réactance est supérieure à la résistance, le déphasage est compris entre 45 et 90°. Il peut donc s'avérer nécessaire d'ajouter une résistance à la bobine inconnue L_X ou à la bobine étalon L_S de façon à avoir égalité entre la résistance et l'inductance.

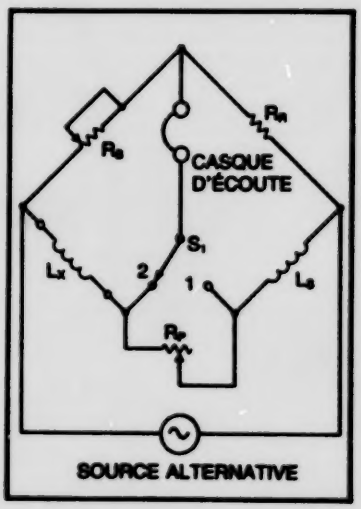


Fig. 9. Montage en pont alternatif avec résistance variable R_P ajoutée pour le rephasage.

10 Circuit anti-capacitif de Wagner

Quand on utilise un pont en courant alternatif pour mesurer des impédances élevées, ou pour mesurer l'impédance d'un composant installé dans un circuit, il est quelquefois nécessaire d'utiliser un circuit anti-capacitif, appelé quelquefois *circuit à prise de terre de*

Wagner, pour éliminer les capacités parasites. Ce circuit anti-capacitif comprend une résistance variable relativement faible, montée aux bornes de la source alternative, le curseur étant à la terre. (Un appareil commercial peut être pourvu de cette prise de terre.) Comme avec tous les appareils, bien lire le manuel d'instructions du fabricant, pour savoir comment utiliser cette prise de terre.

11 Mesure de la capacité

Vous vous rappelez que la capacité électrique est l'aptitude d'un composant électrique à recevoir une charge électrique et à la garder. L'unité de capacité est le *farad* (abréviation *F*). Dans la plupart des condensateurs, le farad est une unité trop importante, et l'on utilise dans la pratique le microfarad (μF) et le picofarad (pF). Le microfarad vaut un millionième de farad ($1 \times 10-^{6}$) et le picofarad vaut un millionième de microfarad ($1 \times 10-^{12}$). Autrefois, le picofarad était appelé micromicrofarad ($\mu\mu$F).

Si plusieurs condensateurs sont montés en *parallèle*, la capacité de l'ensemble est égale à la somme des capacités. Si plusieurs condensateurs sont montés en série, leur capacité totale est toujours inférieure à la plus petite des capacités individuelles.

Dans un circuit alternatif, la capacité crée une opposition à la circulation du courant, et un retard des ondes de tension par rapport aux ondes de courant. Cette opposition au courant électrique provoquée par une capacité est ce qu'on appelle la réactance capacitive. Elle se mesure en ohms, et est habituellement associée au symbole X_C.

Dans la pratique, un circuit présente habituellement une certaine résistance ainsi qu'une certaine *réactance capacitive*. Le déphasage est compris entre 0 et 90°. Un tel circuit, appelé circuit RC, possède une résistance R et une capacité C en série. **L'impédance d'un circuit *RC* série est son opposition totale au passage du courant alternatif, et comprend la résistance et la réactance capacitive.**

Quand un circuit série possède une résistance et une réactance capacitive, vous vous rappelez que son impédance Z est supérieure à la résistance *R* seule, ou à la réactance X_C seule.

Pour mesurer les capacités, on réalise un pont en courant alternatif tel que celui représenté à la **figure 10**. Un condensateur étalon de capacité connue C_S est installé dans un bras, le condensateur de capacité inconnue C_X dans l'autre. On raccorde au pont une source alternative de fréquence appropriée, et on équilibre le pont avec R_R et R_B, la résistance de remise en phase R_P, et la résistance du circuit anti-capacitif R_W, selon le cas.

La formule permettant de calculer la capacité est différente de celle utilisée pour le calcul de l'inductance. Quand le pont est en équilibre, on a:

$$\frac{C_X}{C_S} = \frac{R_B}{R_R}$$

où C_X = capacité du condensateur inconnu, en farad
C_S = capacité du condensateur étalon, en farad
R_B = valeur de la résistance d'équilibrage, en ohms
R_R = valeur de la résistance proportionnelle, en ohms

Si la capacité à mesurer est de 1 000 pF, ou moins, la méthode de substitution donne une mesure plus précise que la méthode du pont qui vient d'être décrite. On peut monter à la place du condensateur étalon un condensateur ayant une capacité fixe quelconque. Un condensateur étalonné à capacité variable est monté en parallèle sur le condensateur de capacité inconnue à mesurer. On équilibre le pont, et on lit directement la capacité du condensateur variable.

On enlève ensuite la capacité inconnue, et ajuste le condensateur variable jusqu'à ce que le pont soit de nouveau équilibré. L'augmentation de capacité du condensateur variable est alors égale à la capacité du condensateur inconnu.

Il convient d'observer que les résultats obtenus par cette méthode n'ont que la précision de l'étalonnage du condensateur variable. En effet, les caractéristiques du pont ne changent pas pendant l'essai.

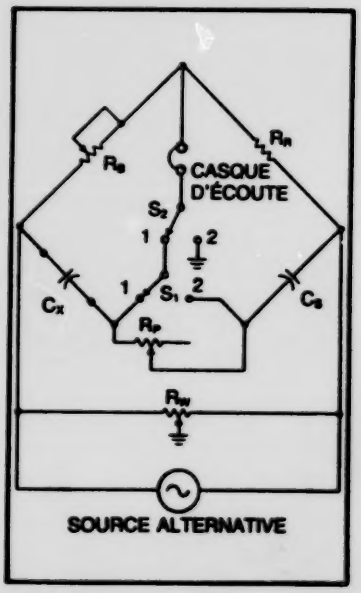


Fig. 10. Le rephasage permet de rendre la résistance du condensateur étalon égale à celle du condensateur inconnu. Le commutateur permet à une résistance étalonnée R_P d'être montée sur le condensateur étalon ou le condensateur inconnu (le commutateur 2 est destiné au circuit anti-capacitif de Wagner).

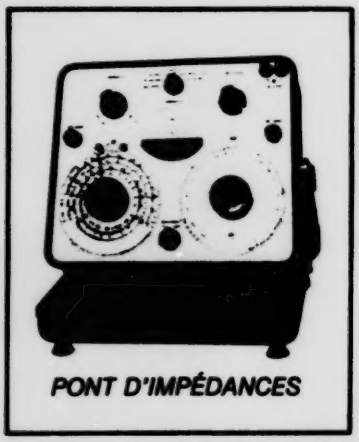
12 Pont d'impédances

Un *pont d'impédances* permet de mesurer une capacité, une inductance, une résistance, le facteur de dissipation d'un condensateur, et enfin le coefficient de qualité, quelquefois appelé aussi le facteur de mérite, des bobines.

Le pont d'impédances possède des commutateurs spécialement installés; il vous permet de mesurer des impédances en série ou en parallèle. Les circuits du pont sont choisis à l'aide d'un sélecteur (**fig. 11**).

À la figure 11, le cadran *CRL* (capacité, résistance, inductance) est le cadran principal de la partie inférieure droite; le cadran *DQ* (facteur de dissipation et facteur de qualité) se trouve à la partie inférieure gauche. La résistance multiplicatrice (pour les mesures *CRL*) se trouve à la partie supérieure droite. Le sélecteur situé à la partie centrale supérieure sert à mettre le pont sous tension et hors tension, ou encore à choisir le type de mesure (en courant alternatif ou continu). Ce sélecteur permet d'utiliser un oscillateur interne de 1 kHz (kilohertz), ou encore un signal alternatif extérieur (par exemple un oscillateur), ou encore une source continue interne (6 V) ou externe.

On détermine l'équilibre du pont à l'aide d'un galvanomètre installé au centre du panneau. Un réglage de sensibilité, variable en fonction du degré de déséquilibre, permet de travailler avec une sensibilité extrême.



Courtoisie de GenRad

Fig. 11. Ce pont d'impédances est un système de mesure entièrement autonome. Le composant inconnu est monté entre les bornes se trouvant dans le coin supérieur droit.

13 Facteur Q (inductance)

Le facteur *Q* d'une bobine, c'est-à-dire le facteur de qualité, ou encore le coefficient de qualité, permet de mesurer le rendement d'une bobine. Si une bobine possède un facteur *Q* élevé, les pertes dans la bobine sont faibles.

On trouvera le facteur *Q* par la formule suivante:

$$Q = \frac{X_L}{R}$$

où X_L est la réactance inductive de la bobine (à la fréquence spécifiée), *R* étant sa résistance (ces deux grandeurs sont en ohms). Le facteur *Q* d'une bobine est un rapport sans dimensions.

14 Facteur Q et facteur de dissipation d'un condensateur

Dans un condensateur, le coefficient de qualité *Q* indique de combien le condensateur se rapproche de la situation idéale (pertes nul-

les). Dans un condensateur, Q est égal au rapport entre la réactance capacitive X_C et la résistance parallèle R (qui représente les pertes). La formule de calcul est la suivante:

$$Q = \frac{X_C}{R}$$

Le facteur Q d'un condensateur, tout comme le facteur Q d'une bobine, varie avec la fréquence appliquée.

Quand on parle de la qualité d'un condensateur, on préfère parler de *facteur de dissipation* plutôt que *de valeur du facteur Q*. Le facteur de dissipation (représenté par D) est l'inverse de Q. On exprime souvent D en pourcentage. On obtient le pourcentage de perte d'un condensateur par la formule suivante:

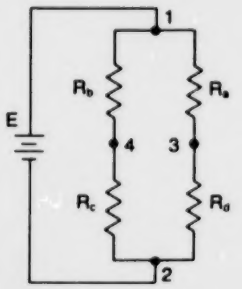
$$D = \frac{1}{Q} = \frac{R}{X_C}$$

Exercice de contrôle 1

Faites une pause pour revoir quelques points-clés sur les principes des montages en pont. Maintenant répondez aux questions suivantes. Vérifiez vos réponses et si elles sont différentes des nôtres vous trouverez l'explication à la section donnée à chaque réponse.

Vos réponses

1. Vous branchez quatre résistances selon le circuit ci-dessous. On a 10 R_a = 10 R_b et R_c = R_d. Avec un voltmètre, vous ne trouvez aucune tension entre les points:
   A. 1 et 2.
   B. 2 et 3.
   C. 2 et 4.
   D. 3 et 4.



1. _____

2. Quand on utilise un pont de Wheatstone à l'équilibre, l'aiguille du galvanomètre se trouve, sur l'échelle, (à gauche, au milieu, à droite) _____.

2. _____

3. Pour mesurer avec précision des résistances de moins de 1 Ω, le meilleur pont est le pont de _____.

3. _____

4. Les étalons primaires utilisés pour les mesures électriques de précision sont la _____ et la _____.

4. _____
_____

5. Utiliser la formule donnant la capacité d'un condensateur inconnu pour déterminer C_x si R_B = 20 Ω, C_s = 2,0 μF, et R_R = 40 Ω.

5. _____

Réponses aux questions de l'exercice de contrôle 1

1. *D.* 3 et 4 — Sections 1-4
2. au milieu — Section 2
3. Kelvin — Section 6
4. pile étalon, résistance étalon — Section 7
5. $C_x = C_s \times \frac{R_B}{R_R} = \frac{2,0 \times 20}{40} = 1,0\ \mu F$ — Section 11

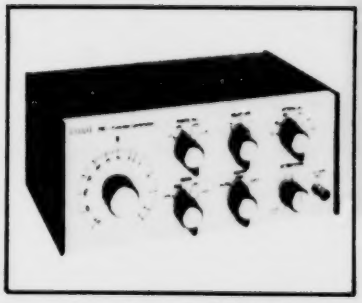
Systèmes générateurs et détecteurs de signaux

15 Générateurs de signaux

Vous vous rappelez qu'un *générateur de signaux* est fondamentalement un circuit oscillant qui produit une tension alternative. Cette opération se fait à des fréquences réglables et pour différentes formes d'ondes.

Les générateurs de signaux sont habituellement classés selon la fréquence des signaux produits. Il existe des générateurs de signaux à fréquence variable pour les audiofréquences, les vidéofréquences, les radiofréquences et les hyperfréquences. On peut aussi classer les générateurs de signaux selon leur sortie. Les générateurs A.F. (audiofréquence) et R.F. (radiofréquence) émettent des signaux qui sont fonction de la fréquence. Les générateurs de fonctions (**fig. 12**) émettent des signaux qui sont fonction du temps et non de la fréquence. Enfin, les générateurs d'impulsions peuvent émettre des salves d'impulsions à certains intervalles. Par exemple, un générateur d'impulsions pourra émettre une salve de cinq impulsions de 1 μs (microseconde) toutes les 10 secondes.

Les générateurs de signaux etalonnés sont des équipements importants, car les signaux produits possèdent des caractéristiques connues. Quand un signal est injecté dans un circuit, on peut tester ce signal à l'aide d'un autre appareil de mesure: un voltmètre, un oscilloscope, un analyseur d'onde, ou encore un distorsiomètre.



Courtoisie d'EICO Electronic Instruments Co., inc.

Fig. 12. Ce générateur de fonctions, appelé aussi générateur de fonctions-balayage, émet des ondes sinusoïdales, carrées ou triangulaires discrètes, sur une large gamme de fréquences. Ces générateurs servent tant dans les applications analogiques que numériques.

Courtoisie EICO Electronic Instruments Co., Inc.

Fig. 13. Le générateur à semi-conducteurs d'ondes sinusoïdales-carrées ci-dessus couvre une large gamme de fréquences, 20 Hz (hertz) à 2 MHz (mégahertz), sur cinq bandes.

Un oscilloscope (souvent abrégé «scope» dans la littérature de langue anglaise) permet de visualiser les variations de tension sur l'écran d'un tube cathodique. Le prochain cours est entièrement consacré aux oscilloscopes. Nous étudierons plus loin les analyseurs d'onde et les distorsiomètres.

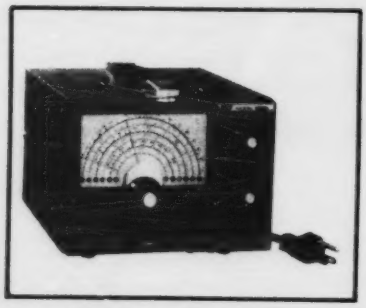
On peut contrôler le niveau et l'aspect du signal. Si le signal connu n'est pas trouvé dans un étage particulier du circuit, ou encore s'il est distordu ou affaibli, l'étage en question est défectueux.

Dans de nombreux essais, on utilise simultanément des générateurs de signaux et des analyseurs de signaux, pour en arriver à une «coïncidence» des signaux. C'est un peu la même chose que dans un pont, qui mesure une grandeur inconnue par comparaison avec une grandeur connue.

16 Générateurs de signaux A.F.

Un générateur de signaux A.F. peut émettre une bande continue d'audiofréquences connues, une fréquence à la fois. On peut l'utiliser pour contrôler les performances d'un dispositif A.F.

Certains générateurs de signaux A.F. (**fig. 13**) peuvent produire des ondes sinusoïdales et des ondes carrées. Les ondes carrées contiennent l'harmonique fondamentale, plus d'autres harmoniques impaires, multiples de la fréquence fondamentale. L'utilisation d'ondes carrées permet donc de tester simultanément la fréquence et le déphasage d'un amplificateur (un oscilloscope servant à surveiller la forme d'onde). Si l'amplificateur fonctionne convenablement, la forme d'onde de sortie est la même que la forme d'onde en entrée.



Courtoisie de B&K-PRECISION Test Instruments, Dynascan Corporation

Fig. 14. Les générateurs de signaux R.F., tel le générateur à semi-conducteurs ci-dessus, sont des équipements robustes, polyvalents et précis qui émettent des signaux pour toutes les applications de dépannage.

17 Générateurs de signaux R.F.

Certes, un générateur de signaux unique pourrait couvrir toute la gamme A.F. (15 à 20 000 Hz (hertz)). Mais un générateur de signaux R.F. ne peut à lui seul couvrir toutes les gammes R.F. Chaque générateur de signaux R.F. couvre une gamme de fréquences bien précise.

La **figure 14** montre un générateur de signaux R.F. typique. Il possède six gammes de fréquence, que l'on peut choisir grâce à

un sélecteur, et permet d'émettre des radiofréquences de 100 kHz à 30 MHz (mégahertz: *M* = *méga* = 1 000 000, ou 1×10^6). Les différentes échelles se chevauchant, de façon à avoir une augmentation continue des fréquences d'une bande à l'autre.

On peut commander l'amplitude du signal de sortie R.F. Il existe trois sorties R.F.: un signal R.F. non modulé (le signal *porteur*); un signal R.F. modulé, c'est-à-dire le signal porteur modulé par un signal interne de 400 Hz; et un signal R.F. à modulation extérieure. On peut appliquer au générateur un signal de modulation externe de 40 kHz à 10 kHz.

Les générateurs de signaux R.F. à balayage émettent un signal R.F. dont la fréquence varie d'un sens à l'autre entre deux limites. La radiofréquence, d'amplitude constante, est mélangée à un signal A.F., et varie à une vitesse déterminée par le signal A.F. L'importance du glissement de fréquence par rapport à la fréquence centrale est appelée l'*excursion maximale*; elle définit la gamme de fréquences de la sortie. L'excursion dépend de l'amplitude du signal A.F.; le nombre de balayages dépend de la fréquence du signal A.F.

18 Formes d'ondes

Rappelez-vous l'onde sinusoïdale d'un courant alternatif. Les ondes sinusoïdales servent souvent de signaux de commande dans les circuits industriels. **On peut faire varier, pour modifier le signal, l'amplitude ou la phase de l'onde sinusoïdale.**

On rencontre souvent des formes d'ondes complexes: la plus fréquente est l'impulsion. Les impulsions peuvent être des ondes carrées, des ondes triangulaires (vous connaissez certainement l'onde triangulaire en dents de scie), ou encore des ondes demi-sinusoïdales (**fig. 15**).

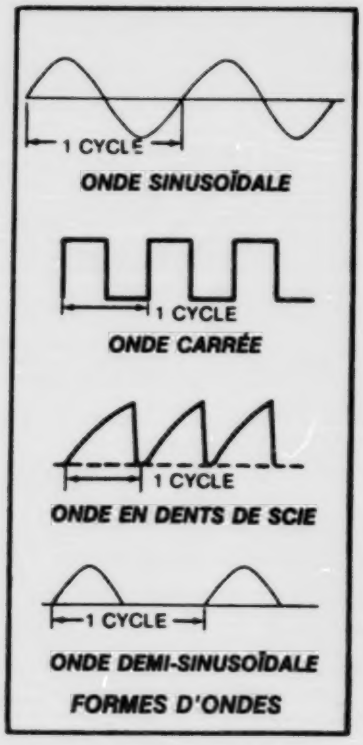


Fig. 15. Formes d'ondes souvent utilisées comme signaux de commande dans les applications industrielles.

19 Générateurs d'impulsions

Les *générateurs d'impulsions* sont des appareils relativement bon marché, à paramètres commandés individuellement et à dispositifs hau-

tes performances, articulés autour d'un microprocesseur et émettant des impulsions de haute précision. La **figure 16** montre un générateur d'impulsions programmable.

Un générateur d'impulsions peut produire des impulsions à des moments extrêmement précis, avec des temps de montée et des temps de chute réglés indépendamment les uns des autres, et avec des largeurs d'impulsions spécifiques (durées). En fait, il existe deux fréquences pouvant être commandées séparément: la fréquence des impulsions, ou taux de répétition, et la fréquence des salves. Un *mode salve* permet de produire un nombre prédéterminé d'impulsions à des fréquences prédéterminées. Ces salves peuvent être déclenchées par le générateur d'impulsions, par un déclencheur externe, ou à la main. Dans le générateur d'impulsions de la figure 16, la largeur des impulsions peut être programmée de 10 ns (nanosecondes); n = *nano* = 1×10^{-9} à 1 s (seconde).

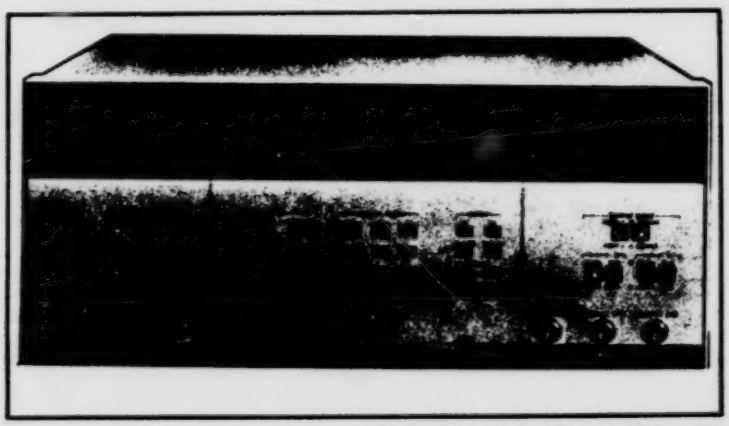


Fig. 16. Les paramètres des impulsions émises par ce générateur programmable sont directement introduits sous forme de quantités numériques, et sont affichés sur des diodes électroluminescentes (DEL).

Courtoisie de Hewlett-Packard Company

Les générateurs d'impulsions permettent de contrôler le fonctionnement des circuits électroniques exigeant une synchronisation poussée, par exemple les circuits logiques. Vous pouvez aussi utiliser un générateur d'impulsions pour contrôler un compteur. Exemple: vous soupçonnez que le compteur passe trop tôt au zéro; vous pourriez utiliser le générateur d'impulsions pour envoyer neuf impulsions, puis vérifier si le compteur en a compté neuf ou bien dix. (Si vous croyez que le compteur a oublié certaines impulsions, essayez 11 ou 12 impulsions.)

20 Analyseurs de signaux

Les *analyseurs de signaux* sont utilisés dans de nombreuses applications pour identifier et mesurer les signaux en fonction de la fréquence.

En d'autres termes, l'intensité du signal est représentée graphiquement en fonction de la fréquence, et non en fonction du temps. Par exemple, il existe un analyseur de signaux appelé analyseur de spectre, qui peut surveiller et analyser les vibrations des éléments d'une machine tournante, et vous indiquer si un palier ou un engrenage fonctionne convenablement.

Les analyseurs de signaux servent à détecter et mesurer les signaux non désirés. Toutefois, avant d'étudier les analyseurs de signaux particuliers, il est bon d'étudier rapidement la terminologie de base, ce qui vous permettra de mieux comprendre la suite.

Ondes sonores et audiofréquences. Le son est le mouvement d'une onde, de pression variable, dans un solide, un liquide ou un gaz. Les variations de pression proviennent des vibrations mécaniques de la source. Les ondes sonores sont mécaniques et non électriques. Elles doivent donc être converties en énergie électrique. Les transducteurs, par exemple les microphones, convertissent les vibrations mécaniques en signaux électriques. Pour revenir au son, il faut retransformer les signaux électriques à l'aide d'un autre type de transducteur, par exemple un haut-parleur.

Les ondes sonores, ou ondes acoustiques, possèdent deux composantes distinctes qui doivent être converties en signaux électriques: l'amplitude et la fréquence.

L'amplitude d'une onde, ou sa taille, détermine l'intensité sonore de l'onde acoustique; le son est d'autant plus intense que l'amplitude de l'onde est élevée.

La fréquence de l'onde sonore détermine sa hauteur. Vous vous rappelez qu'on appelle fréquence le nombre de fois qu'un événement se produit au cours d'un intervalle de temps donné. Les fréquences audibles vont d'environ 20 à 20 000 Hz (hertz), ou cycles par seconde. Les fréquences élevées correspondent aux sons aigus, et les basses fréquences aux sons graves. Par exemple, l'onde acoustique produite par un tuba présente une fréquence plus faible que celle produite par une flûte. C'est pourquoi on dit que le tuba est «grave» et que la flûte émet un son «aigu».

Fréquence fondamentale et fréquences harmoniques: si la corde d'un violon émet des ondes acoustiques à une fréquence de 500 Hz quand la corde toute entière vibre, on dira que c'est sa fréquence fondamentale, c'est-à-dire la fréquence la plus faible qu'elle peut produire. Cette fréquence fondamentale est aussi quelquefois appelée première harmonique. Supposons maintenant que le violoniste place son doigt exactement au milieu de la corde, ce qui la raccourcit. Quand on pince cette corde raccourcie, elle vibre à une

Fig. 17. Effet de la distorsion harmonique sur un signal d'entrée sinusoïdal. Plus la fréquence de l'information A.F. est grande, plus gênante sera la distorsion harmonique. Aux faibles audiofréquences (moins de 100 Hz), on peut tolérer une distorsion harmonique relativement élevée.

fréquence plus élevée, ce qui donne un son aigu. La vibration se fait exactement à une fréquence double de la fréquence fondamentale. On l'appelle la deuxième harmonique.

La fréquence d'une harmonique est un multiple exact de la fréquence fondamentale; si l'harmonique fondamentale (ou première harmonique) est de 500 Hz, la deuxième harmonique est de 1 000 Hz (2×500). Comme l'harmonique est toujours un multiple entier de l'harmonique fondamentale, notre troisième harmonique sera de 1 500 Hz (3×500), la quatrième harmonique 2 000 Hz (4×500); etc.

21 Distorsion

On appelle *distorsion* une déformation non désirée de la forme d'onde d'un signal électrique. Vous vous rappelez qu'une forme d'onde dépend de l'amplitude et de la fréquence d'un signal. Si la forme et la fréquence du signal de sortie d'un dispositif (tel un amplificateur) ne sont pas *exactement* les mêmes que la forme et la fréquence du signal d'entrée, une distorsion a été introduite.

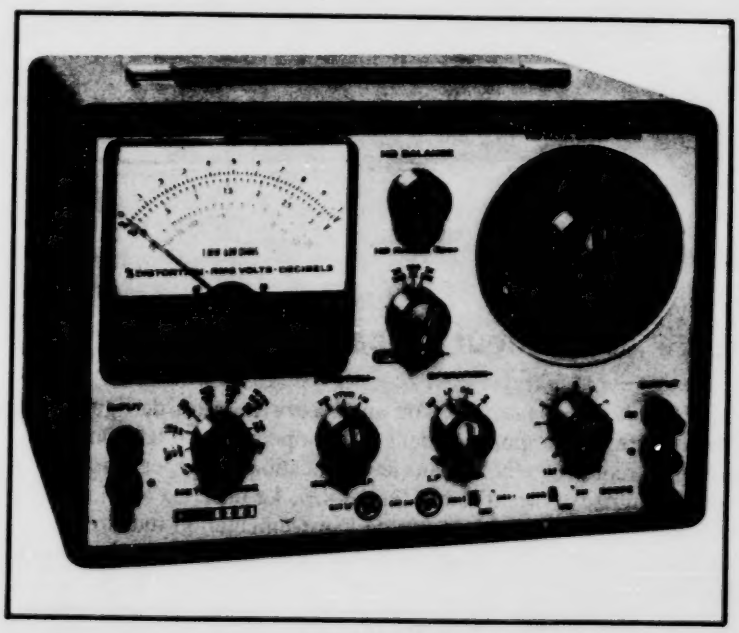
Il se produit une distorsion en amplitude quand les amplitudes relatives des signaux de sortie ne sont pas les mêmes que celles du signal d'entrée. La distorsion en amplitude rend la sortie d'un amplificateur en A.F. rauque ou dénaturée. La distorsion harmonique, ou distorsion non linéaire (**fig. 17**) se rencontre pour une composante de fréquence *unique*. Par exemple, si la fréquence d'origine, en (*a*) est de 1 000 Hz, la deuxième harmonique ($2 \times 1\,000 = 2\,000$ Hz) refaçonne l'onde, comme en (*b*). La troisième harmonique ($3 \times 1\,000 = 3\,000$ Hz) donne l'effet (*c*). Quand on combine la deuxième et la troisième harmoniques d'une fréquence simple, on a l'onde (*d*) de la figure 17. En effet, la distorsion en amplitude est la même que la distorsion harmonique, car une modification de l'amplitude relative d'une onde augmente des composantes de fréquences harmoniques qui ne se trouvaient pas dans l'onde acoustique originale.

La distorsion d'intermodulation, pour sa part, résulte de l'interaction des différentes composantes des signaux désirés, aux différentes fréquences qui traversent l'appareil. Imaginons que l'on ait un amplificateur linéaire qui fonctionne normalement (un amplificateur linéaire apporte au courant de sortie des modifications directement proportionnelles aux variations de la tension d'entrée appliquée). En d'autres termes, on a amplification d'un signal sans modification

des caractéristiques de la forme d'onde d'entrée. Si l'on introduit simultanément dans l'amplificateur un son de 100 Hz et un son de 1 000 Hz, ces deux sons, et *seulement* ceux-ci, vont apparaître en sortie de l'amplificateur. De plus, chaque son va sortir sans être affecté par l'autre. Toutefois, s'il y a non-linéarité, d'autres sons apparaissent en sortie: les *harmoniques* non désirées des fréquences fondamentales. Outre les sons initiaux 100 et 1 000 Hz, l'amplificateur «non linéaire» peut aussi produire des sons en sortie de 900 et 1 100 Hz. Que s'est-il passé? Au lieu que les ondes restent sous la forme d'ondes distinctes, chaque onde a modulé l'autre. Habituellement, c'est dans les amplificateurs non linéaires que l'on constate simultanément une *distorsion harmonique* et une *distorsion d'intermodulation*.

22 Distorsiomètre

Un *distorsiomètre* (**fig. 18**) vous indique quel pourcentage du signal de sortie totale est de la distorsion. En cours d'utilisation, un générateur de signaux est branché à l'entrée de l'appareil étudié, et le distorsiomètre est branché à la sortie. Tout d'abord, on accorde le distorsiomètre sur la fréquence fondamentale du signal d'entrée. Puis on l'ajuste de façon que la fréquence fondamentale du signal d'entrée soit éliminée (par filtrage) du détecteur (circuit amplificateur et circuit voltmètre) du distorsiomètre.



Courtoisie de EICO Electronic Instruments Co., Inc.

Fig. 18. Un distorsiomètre est essentiellement un appareil de mesure de la distorsion d'une onde sinusoïdale. Il sépare par filtrage la fréquence fondamentale et mesure les harmoniques restantes.

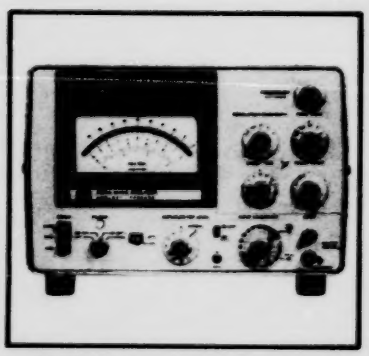
Après équilibrage du distorsiomètre pour supprimer la fréquence fondamentale, les harmoniques de la fréquence fondamentale, les bruits et autres composantes de la distorsion sont amplifiés, et l'appareil mesure la contribution totale de ces bruits. Le distorsiomètre indique la distorsion harmonique totale et les autres types de distorsion, en pourcentage du signal de sortie totale.

Bref, le distorsiomètre mesure l'énergie extérieure à une largeur de bande spécifique: cette énergie représente la distorsion.

23 Analyseur d'onde

Un *analyseur d'onde* (**fig. 19**) est essentiellement un récepteur très précis possédant un millivoltmètre incorporé. Comme on peut accorder un analyseur d'onde à une fréquence spécifique sur une certaine gamme de fréquences, il peut vous indiquer l'intensité de chaque fréquence fondamentale et de chaque harmonique à laquelle vous l'accordez.

Le signal d'essai est produit par un générateur de signaux. Pour contrôler un amplificateur, il faut brancher le haut-parleur, car la distorsion doit être contrôlée toutes les fois que cela est possible sous charge normale. L'analyseur d'onde est branché après le haut-parleur. Un analyseur d'onde vous dit ce que subit une onde sinusoïdale d'entrée au fur et à mesure qu'elle progresse à travers l'équipement étudié.



Courtoisie de Hewlett-Packard Company

Fig. 19. L'analyseur d'onde résout et mesure l'amplitude et la fréquence des composants spectraux. Un affichage numérique de la fréquence accordée se trouve au-dessus du cadran analogique, pour faciliter la lecture.

24 Chercheur de parasites

Les *chercheurs de parasites*, ou analyseurs de bruits de ligne, sont particulièrement importants dans les équipements de télécommunication en radiofréquences, dans les applications radar, et chaque fois que des signaux entrants sont très faibles. Le bruit est aussi un facteur important dans le domaine de l'instrumentation industrielle et chimique, chaque fois que l'on a besoin de détecter un signal très faible.

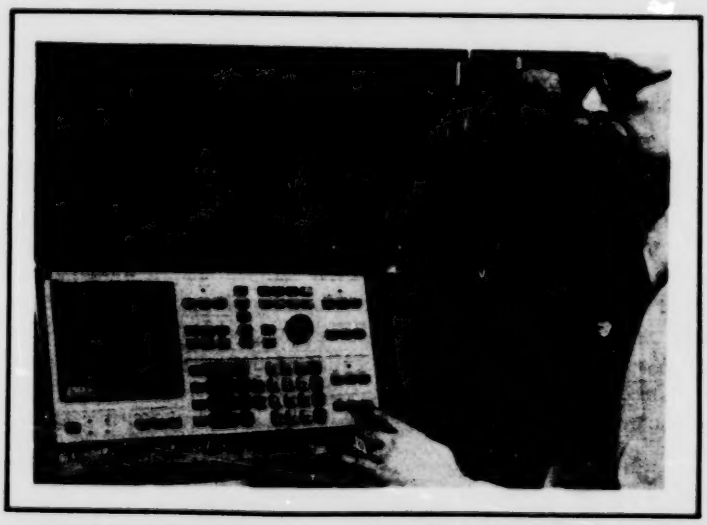
Le signal le plus faible pouvant être détecté par un récepteur dépend du bruit du système récepteur lui-même. Si l'équipement est

grevé d'un bruit important, et si le signal est très faible, il peut s'avérer impossible de distinguer le bruit du signal à détecter. Souvent, il vaut mieux augmenter la sensibilité d'un système récepteur en augmentant le rapport signal/bruit plutôt qu'en augmentant la puissance du système émetteur. Pour cela, il faut, bien sûr, avoir une mesure précise du bruit.

Un chercheur de parasites est tout simplement un décibelmètre qui vous indique le pourcentage du signal total que l'on doit considérer comme un bruit. Il consiste à appliquer un signal d'essai à l'appareil étudié, à mesurer la puissance combinée du signal et du bruit, à séparer le signal d'essai par filtrage, puis à mesurer le bruit restant. On appelle rapport signal/bruit le rapport entre le signal et le bruit de l'appareil étudié.

25 Analyseur de spectre

Un *analyseur de spectre* **(fig. 20)** sert à mesurer les propriétés fondamentales d'un signal en fonction de la fréquence. Il visualise sur l'écran d'un oscilloscope les variations de l'amplitude d'une onde en fonction de la fréquence. En d'autres termes, vous pouvez voir la répartition de l'énergie en fonction de la fréquence. On peut utiliser un analyseur de spectre pour examiner la pureté d'un signal; pour



Courtoisie de Hewlett-Packard Company

Fig. 20. Les analyseurs de spectre présentent les variations de l'amplitude en fonction de la fréquence sur un écran cathodique. Cette unité affiche aussi des informations fondamentales sur le signal surveillé, en caractères alphanumériques, sur le bord de l'écran.

mesurer le pourcentage d'une modulation d'amplitude ou d'une modulation de fréquence; et pour étudier les impulsions R.F., les bruits de phase, et la réponse en fréquence.

26 Radars et sonars

Radar: Le mot *radar* vient de l'expression «radio detection and ranging». **Le radar émet une onde R.F. très puissante sur un faisceau très étroit.** L'onde R.F. heurte des objets sur sa trajectoire et est réfléchie vers l'antenne. Un récepteur détecte l'onde réfléchie et la compare à l'onde originale, pour en tirer des informations sur l'objet ayant réfléchi l'onde.

Il existe trois types de radar: les radars à modulation de fréquence (FM), les radars à glissement de fréquence et les radars à impulsions. Les radars FM donnent une courbe de la fréquence en fonction du temps, pour déterminer la distance entre l'objet et l'émetteur. Les radars à glissement de fréquence, ou à onde entretenue, émettent un signal monofréquence qui heurte la cible. L'effet Doppler créé par le signal qui heurte un objet mobile modifie la fréquence du signal. On détermine la distance en comparant la fréquence fixe et l'écho Doppler.

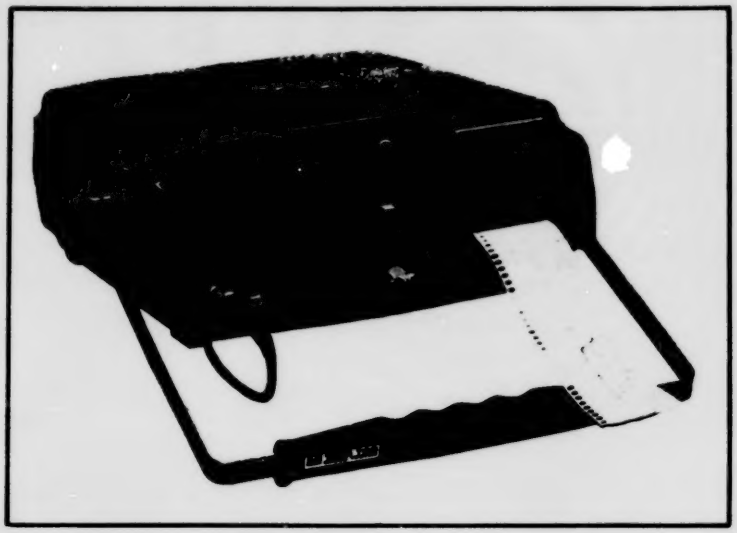
Enfin, le radar à impulsions utilise des impulsions plutôt qu'une émission continue. Ici aussi, le temps que mettent les impulsions pour revenir indique la distance de la cible.

Sonar: Le mot *sonar* vient de l'expression «sound navigation and ranging». Tout comme le radar, le sonar actif détermine la distance entre l'émetteur et un objet détecté, en mesurant le temps mis par le signal pour aller jusqu'à l'objet et revenir au récepteur. **Le sonar utilise des ondes acoustiques au lieu d'ondes R.F., car le son se propage dans l'eau.**

Il existe deux types de sonars: **le sonar actif et le sonar passif.** Le sonar actif émet des signaux et peut être utilisé pour déterminer la distance entre l'émetteur et l'objet; le sonar passif indique seulement qu'il y a «quelque chose»: mais il est utile quand il est nécessaire d'éviter toute détection. Par exemple, un sous-marin utilise un sonar passif pour que ses ondes émises ne soient pas utilisées par un navire ennemi pour envoyer et diriger des missiles.

Ces deux types d'émetteur-récepteur en fonction du temps sont certainement les plus connus, mais il en existe un autre, décrit ci-après.

Vérificateur de câble TDR: On utilise un vérificateur de câble TDR ("time-domain reflectometry") pour identifier et localiser un défaut de câble (**fig. 21**). Branché sur un câble, le vérificateur de câble TDR émet une impulsion électrique qui revient à l'unité à chaque défaut du câble. Le type de défaut est identifié par la forme affichée; la distance à laquelle le défaut se trouve est déterminée par une mesure du temps qui s'écoule entre l'émission de l'impulsion d'essai et sa réception après réflexion sur le défaut.



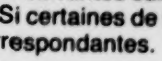
Courtoisie de Hewlett-Packard Company

Fig. 21. Les vérificateurs de câble TDR tel que celui représenté sont généralement alimentés par une pile. Ils sont de construction robuste, pour utilisation dans les opérations d'entretien sur le terrain.

Exercice de contrôle 2

Avant de passer au questionnaire personnel, essayez de répondre aux questions suivantes sur les systèmes générateurs et détecteurs de signaux. Si certaines de vos réponses sont mauvaises, revoir les sections correspondantes.

Vos réponses

1. Si vous utilisez un générateur A.F. pour produire cette onde  et un oscilloscope pour la surveiller, vous pouvez contrôler simultanément:
   A. l'amplitude et les harmoniques.
   B. la hauteur et le son.
   C. la fréquence et la phase.
   D. les vibrations et le temps.

   1. _____

2. Un générateur de signaux émettant un signal R.F. qui varie en fréquence et balaie les fréquences, dans un ordre donné, est un _____.

   2. _____

3. Vrai ou Faux? Un transducteur peut convertir des ondes acoustiques en signaux électriques.

   3. Vrai Faux
   (Encerclez la bonne réponse.)

4. Si une fréquence fondamentale est de 400 Hz, la deuxième harmonique est:
   A. 4 000 Hz. *C.* 800 Hz.
   B. 1 600 Hz. *D.* 200 Hz.

   4. _____

5. L'appareillage émetteur-récepteur d'ondes réfléchies sur un obstacle pouvant servir à localiser des objets sous l'eau est appelé un _____.

   5. _____

Réponses aux questions de l'exercice de contrôle 2

1. C la fréquence et la phase — Section 16
2. générateur R.F. de signaux de balayage — Section 17
3. Vrai — Section 20
4. C. 800 Hz. (400 Hz × 2 = 800 Hz) — Section 20
5. sonar — Section 26

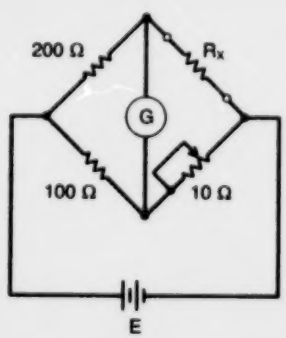
Examen personnel

Lisez attentivement chacune des phrases suivantes et assurez-vous que vous en comprenez bien le sens. Chaque phrase est suivie de quatre mots ou groupes de mots, dont un seul est correct. Faites un X sur la lettre correspondant à votre réponse.

1. L'appareil de mesure utilisé dans un pont de Wheatstone pour mesurer un élément avec précision est:

   A. un ampèremètre.
   B. un galvanomètre.
   C. un voltmètre.
   D. un multimètre.

2. Quelle doit être la valeur de R_x si le pont suivant est équilibré?



   A. 20 Ω
   B. 50 Ω
   C. 100 Ω
   D. 200 Ω

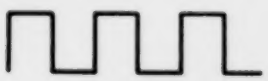
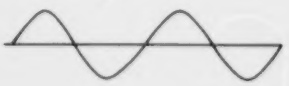
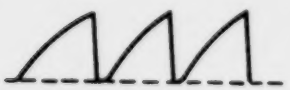
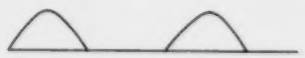
3. Vous ne pouvez pas utiliser un pont de Wheatstone pour mesurer une résistance inférieure à un ohm à cause:

   A. de sa résistance interne.
   B. de la résistance des bornes.
   C. d'une chute de tension trop élevée.
   D. de la compensation de température.

4. Il est possible de mesurer une intensité à l'aide d'un potentiomètre, grâce à:
   A. un shunt.
   B. un rhéostat.
   C. un pont.
   D. une pile.

5. Pour mesurer une inductance à l'aide d'un pont en courant alternatif, le détecteur en courant alternatif est constitué:
   A. de résistances variables.
   B. de bobines étalon.
   C. de batteries.
   D. de casques d'écoute.

6. Parmi les ondes ci-dessous, laquelle est une onde demisinusoïdale?

   A. 
   C. 
   B. 
   D. 

7. La caractéristique d'une onde acoustique qui provoque des variations de l'intensité sonore est:
   A. sa modulation.
   B. son amplitude.
   C. sa fréquence.
   D. sa distorsion.

8. Si vous faites vibrer un fil sur toute sa longueur, la fréquence produite est
   A. sa première harmonique.
   B. sa deuxième harmonique.
   C. sa troisième harmonique.
   D. sa quatrième harmonique.

9. Vous testez un amplificateur, et vous trouvez que l'amplitude et la fréquence du signal de sortie ne sont PAS les mêmes que celles du signal d'entrée. Cela montre une:
   A. modulation.
   B. distorsion.
   C. rectification.
   D. vibration.

10. Que fait un analyseur d'onde?
    A. Il affiche l'onde sur l'écran d'un tube cathodique.
    B. Il mesure l'énergie extérieure à une certaine largeur de bande.
    C. Il produit une fréquence d'essai spécifique.
    D. Il analyse l'onde qui revient en écho d'un objet.

Vous trouverez les réponses à la page 309.

Appareils de mesure à pont

BF0103

(Lexiques)

Français	Anglais
Ampèremètre	Current Meter
Analyseur d'onde	Wave Analyser
Analyseur de spectre	Spectrum Analyser
Appareil de mesure à pont	Bridge Type Instrument
Auto-induction	Self-Induction
Bobine/enroulement	Reactor
Bornes	Terminals
Branche d'un pont	Bridge Arm
Capacité	Capacitance
Capacité parasite	Stray Capacitance
Caque d'écoute	Headset
Chute de tension	Voltage Drop
Coefficient de qualité	Figure of merit
Connexion	Hookup
Curseur	Slidewire
Curseur	Slider
Déphasé	Out of phase
Déséquilibre	Unbalanced
Distorsion d'intermodulation	Intermodulation Distortion
Étalon	Standard
Facteur de qualité/facteur *Q*	Quality Factor
Faisceau étroit	Narrow Beam
Force contre électromotrice	Countervoltage
Générateur d'impulsions	Pulse generator
Générateur de balayage	Sweep generator
Glissement de fréquence	Frequency shift
Harmoniques	Harmonics
Hyperfréquence (micro onde)	Microwave Frequency
Inducteur	Inductor
Mode salve	Burst Mode
Modulant/de modulation	Modulating
Montage en pont	Bridge Circuit
Pile étalon	Standard Cell
Pont d'impédances	Impedance Bridge
Pont de Kelvin	Kelvin Bridge
Pont de résistances	Resistance Bridge
Pot/potentiomètre	Potentiometer
Remise en phase	Phasing Control
Résistance étalon	Standard Resistance
Rhéostat	Rheostat
Rhéostat à curseur	Slidewire Rheostat
Salve d'impulsions	Burst of pulses
Trajet/chemin de courant	Path
Transducteur	Transducer
Vidéofréquence	Videofrequency

Anglais	Français
Bridge Arm	Branche d'un pont
Bridge Circuit	Montage en pont
Bridge Type Instrument	Appareil de mesure à pont
Burst Mode	Mode salve
Burst of pulses	Salve d'impulsions
Capacitance	Capacité
Countervoltage	Force contre électromotrice
Current Meter	Ampèremètre
Figure of merit	Coefficient de qualité
Frequency Shift	Glissement de fréquence
Harmonics	Harmoniques
Headset	Casque d'écoute
Hookup	Connexion
Impedance Bridge	Pont d'impédances
Inductor	Inducteur
Intermodulation Distortion	Distorsion d'intermodulation
Kelvin Bridge	Pont de Kelvin
Microwave Frequency	Hyperfréquence (micro onde)
Modulating	Modulant/de modulation
Narrow Beam	Faisceau étroit
Out of Phase	Déphasé
Path	Trajet/chemin de courant
Phasing Control	Remise en phase
Potentiometer	Pot/potentiomètre
Pulse Generator	Générateur d'impulsions
Quality Factor	Facteur de qualité/facteur *Q*
Reactor	Bobine/enroulement
Resistance Bridge	Pont de résistances
Rheostat	Rhéostat
Self-induction	Auto-induction
Slider	Curseur
Slidewire	Curseur
Slidewire Rheostat	Rhéostat à curseur
Spectrum Analyser	Analyseur de spectre
Standard	Étalon
Standard Cell	Pile étalon
Standard Resistance	Résistance étalon
Stray Capacitance	Capacité parasite
Sweep Generator	Générateur de balayage
Terminals	Bornes
Transducer	Transducteur
Unbalanced	Déséquilibre
Videofrequency	Vidéofréquence
Voltage Drop	Chute de tension
Wave Analyser	Analyseur d'onde

Oscilloscopes

BF0104

Oscilloscopes

Objectifs d'enseignement

L'oscilloscope est l'un des appareils d'essai les plus polyvalents et les plus utilisés dans les applications électroniques.

Dans le présent module, nous vous présentons les principes de base d'un oscilloscope, une vue d'ensemble de ses diverses commandes, ainsi que quelques-unes de ses utilisations les plus courantes en tant qu'appareil de mesure.

À la fin de ce module, vous devriez être en mesure:

- *De définir ce qu'est un oscilloscope et d'identifier ses principales commandes.*
- *D'identifier certains des essais et mesures pouvant être effectués avec un oscilloscope.*
- *De reconnaître certaines des courbes courantes représentatives des mesures effectuées à l'aide d'un oscilloscope.*

Table des matières

Principes de base d'un oscilloscope

Qu'est-ce qu'un oscilloscope? 157
Comment fonctionne un oscilloscope? 158
Circuit de commande 159
Sensibilité verticale 160
Réponse en fréquence 161
Impédance d'entrée 163
Gamme des vitesses de balayage 164
Dispositifs de synchronisation 165
Caractéristiques de l'écran 165
Exercice de contrôle 1 167

Les commandes de l'oscilloscope

Commandes fondamentales 168
Commandes de la section du tube cathodique 169
Commandes de la section de déviation verticale 169
Commandes de la section de déviation horizontale 170
Commandes de la section des bornes 171
Exercice de contrôle 2 173

Les mesures de base effectuées sur un oscilloscope

Application de signaux à un oscilloscope 174
Formes d'ondes en dents de scie 174
Formes d'ondes sinusoïdales 176
Les oscillogrammes caractéristiques 177
Étalonnage 178
Étalonnage à l'aide d'une tension continue 179
Étalonnage avec une tension alternative 180
Réglage du balayage 180

Mesure des amplitudes 182
Tension d'étalonnage interne 183
Commande de l'atténuateur étalonné 183
Étalonnages extérieurs 184
Mesure d'un signal à l'aide d'une composante en courant continu 184
Mesure de la fréquence 185
Mesure des phases 186
Contrôle des ondes carrées 187
Exercice de contrôle 3 189

Caractéristiques spéciales et accessoires

Les différents types de caractéristiques spéciales 191
Balayage récurrent 191
Balayage unique 192
Balayage déclenché 192
Balayage retardé 192
Oscilloscopes à double trace 194
Oscilloscope à mémoire 195
Unités enfichables 196
Sondes 196
Appareil photographique 197
Exercice de contrôle 4 199

Examen personnel 201

Lexiques 204

Principes de base d'un oscilloscope

1 Qu'est-ce qu'un oscilloscope?

Un oscilloscope (fig. 1) est un appareil qui détecte les variations de tension et les affiche, en fonction du temps, sur un écran. L'utilisateur de l'appareil peut ainsi observer comment varie la tension dans un circuit au cours d'un temps donné.

Quand vous observez la «trace» d'un signal sur l'écran d'un oscilloscope, vous pouvez voir l'amplitude du signal présent, sa vitesse de montée et de descente, la durée d'une forme d'onde (ou d'une partie de forme d'onde), et le nombre d'apparitions de la forme d'onde au cours d'un temps donné. Certains oscilloscopes peuvent afficher deux signaux, et même plus, simultanément. Avec deux signaux, comme sur la **figure 1**, vous pouvez voir la relation entre les deux formes d'onde en fonction du temps. C'est là un élément important quand les signaux doivent être *synchronisés* mutuellement.

La hauteur verticale, ou *amplitude*, de la tension du signal est représentée par la hauteur du déplacement du faisceau sur l'écran. La durée du signal est représentée par la distance parcourue horizontalement par le faisceau, c'est-à-dire de gauche à droite de l'écran.

Les dernières années ont vu une amélioration considérable des possibilités des oscilloscopes. Par exemple, certains oscilloscopes peuvent mémoriser des informations. Grâce aux progrès de l'électronique, les oscilloscopes actuels sont plus petits, et possèdent un plus grand nombre d' «options» incorporées. Mais bien que les oscilloscopes modernes puissent paraître compliqués, ils sont en réalité faciles à utiliser, dès que vous en comprenez les principes fondamentaux.

Courtoisie de Tektronix, Inc.

Fig. 1. Un oscilloscope (quelquefois appelé «scope» dans la littérature de langue anglaise) peut mesurer une tension alternative ou continue et l'afficher sous forme graphique. La tension apparaît sur un écran analogue à celui de votre appareil de télévision.

2 Comment fonctionne un oscilloscope?

Nous allons rapidement étudier les principaux composants d'un oscilloscope. Vous pourrez ainsi comprendre ce que vous voyez sur l'écran et comprendre à quoi servent les commandes. Cependant, à notre niveau, il n'est pas nécessaire d'entrer trop dans les détails des éléments internes.

Un oscilloscope comprend deux parties principales: un **tube à rayons cathodiques, (ou tube cathodique)**, et un **circuit de commande**. Le tube cathodique est le coeur de l'oscilloscope (**fig. 2**). Fondamentalement, il s'agit d'un tube à vide, en verre, de grandes dimensions. Il comprend essentiellement un canon à électrons (ou canon électronique), constitué d'une cathode, d'une grille de commande et d'anodes de concentration et d'accélération. Il comprend en outre deux ensembles de plaques de déviation; enfin, un revêtement chimique à l'extrémité du tube constitue l'écran.

Le *canon à électrons* produit un faisceau continu d'électrons, qu'il projette sur l'écran au moyen des deux anodes et des plaques de déviation. Lorsqu'aucune force ne modifie leur direction, les électrons se déplacent toujours en ligne droite de la source à la cible.

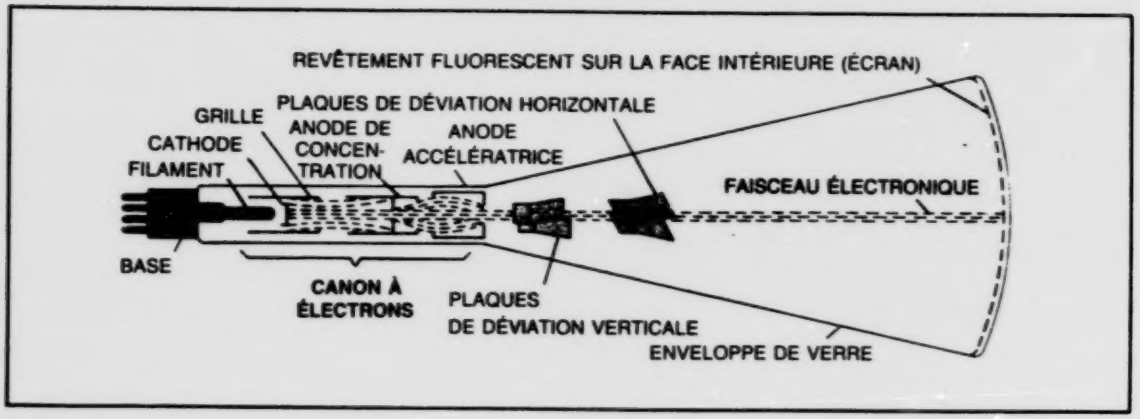


Fig. 2. Les tubes cathodiques sont largement utilisés dans de nombreux dispositifs électroniques: télévision, radar, applications micro-électroniques.

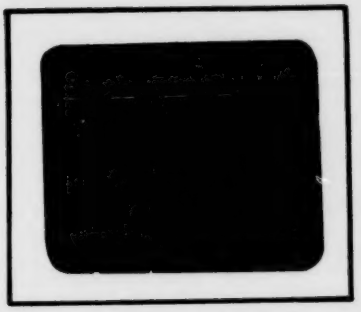
Les *anodes* servent à concentrer (focaliser) et à accélérer le faisceau électronique. Les anodes, quelquefois appelées lentilles électroniques, commandent la trajectoire des électrons un peu comme une lentille optique commande la trajectoire des rayons lumineux qui la traversent.

Les *plaques de déviation* créent le champ (donc la force) qui commande la trajectoire du faisceau d'électrons, faisceau qui produit l'image sur l'écran. **Un ensemble de plaques de déviation assure un déplacement vertical du faisceau, et un autre ensemble contrôle le déplacement horizontal du faisceau.** Pour déplacer le fais-

ceau, on fait varier la tension électrostatique entre les jeux de plaques. Quand le faisceau électronique passe dans le champ électrostatique qui se trouve entre les plaques, il change de direction s'il existe entre les plaques une différence de potentiel. En l'absence de différence de potentiel entre celles-ci, le faisceau ne change pas de direction. L'importance de la déviation du faisceau est directement proportionnelle à la différence de potentiel entre les plaques.

L'*écran* du tube cathodique, qui constitue en fait l'extrémité élargie du tube, est revêtu de substances phosphorescentes. Quand les électrons heurtent ce revêtement, ils provoquent une *fluorescence*, c'est-à-dire l'émission de lumière. La luminosité (ou intensité) de l'image sur l'écran dépend du nombre d'électrons qui heurtent ce revêtement.

La **figure 3** montre un écran d'oscilloscope. Certains oscilloscopes ne donnent qu'une courbe à la fois. Celui de la figure 3 (comme celui de la figure 1) est un oscilloscope à deux traces. Certains oscilloscopes spéciaux peuvent afficher jusqu'à huit formes d'ondes en même temps.



Courtoisie de Tektronix, Inc.

Fig. 3. L'écran d'un oscilloscope est une grille graduée, c'est-à-dire que celle-ci porte des lignes verticales et horizontales formant des carrés, comme dans une grille de mots croisés. Cet écran est quelquefois appelé graticule. Un graticule ressemble à un papier millimétré, mais chaque carré mesure généralement un centimètre de hauteur et un centimètre de largeur.

3 Circuit de commande

L'autre partie importante d'un oscilloscope est son circuit de commande. La **figure 4** est un diagramme synoptique des circuits qui donnent à l'oscilloscope de base ses caractéristiques particulières.

Habituellement, la tension qui sera affichée sur l'écran est trop faible pour être appliquée directement sur les plaques de déviation verticale. Cette tension est donc appliquée à la borne d'entrée verti-

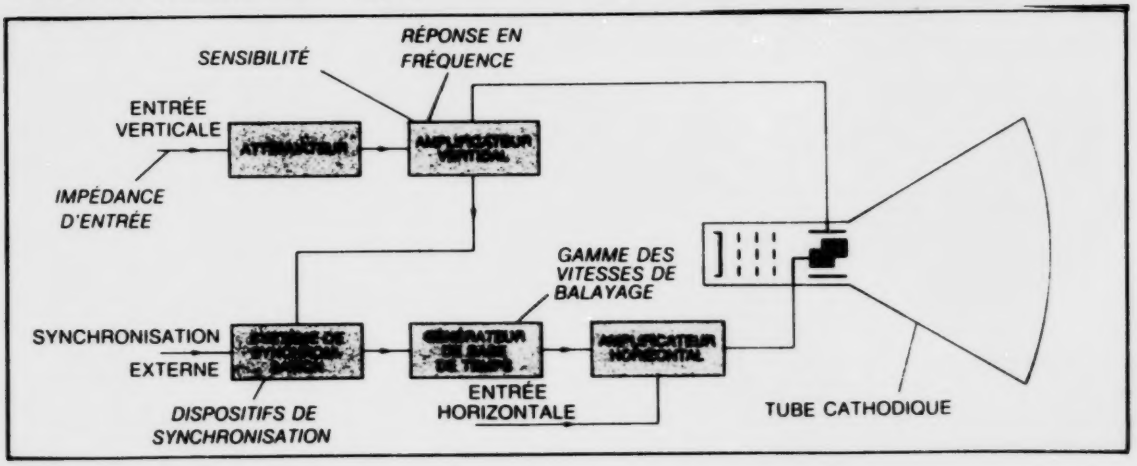


Fig. 4. Diagramme synoptique d'un oscilloscope, les caractéristiques importantes étant identifiées dans les différents blocs.

cale et amplifiée par l'amplificateur vertical. Le circuit atténuateur permet de réduire le signal d'entrée (si cela est nécessaire ou si on le souhaite), avant de l'appliquer à l'amplificateur vertical.

Dans la plupart des mesures, le faisceau électronique doit se déplacer horizontalement sur l'écran cathodique à une vitesse uniforme. On parle alors de balayage. Une tension uniformément variable, capable de créer ce mouvement, est produite dans le générateur de base de temps, puis amplifiée par l'amplificateur horizontal avant d'être appliquée au tube cathodique. On peut aussi prévoir une tension de balayage, produite à l'extérieur de l'oscilloscope, que l'on applique aux plaques de déviation horizontale du tube. Dans ce cas, la tension de balayage extérieure peut être directement appliquée à l'amplificateur horizontal, et on peut déconnecter le générateur interne de base de temps à l'aide d'un interrupteur (non représenté sur la fig. 4).

Le générateur de base de temps, souvent appelé générateur de balayage, ou oscillateur, peut osciller à la fréquence voulue grâce à un signal provenant de l'amplificateur vertical. Cette commande de la fréquence du générateur de base de temps est appelée synchronisation. Un petit signal provenant de l'amplificateur vertical attaque le circuit de synchronisation pour provoquer une synchronisation du générateur de base de temps et du signal entrant.

Une source haute tension-faible intensité alimente le tube cathodique; une source basse tension-haute intensité alimente les circuits, tels les amplificateurs et les générateurs (qui ne sont pas représentés dans le diagramme synoptique de la figure 4).

Comme tous les appareils de mesure, un oscilloscope doit être choisi en fonction des besoins. Il existe de nombreux types d'oscilloscopes. On peut trouver un oscilloscope de bonne qualité, convenant à nos besoins, ou encore un appareil de laboratoire, beaucoup plus complexe. Parmi les caractéristiques qu'il convient de prendre en compte lorsqu'on envisage l'acquisition d'un oscilloscope pour une application particulière, il en est cinq particulièrement importantes: la *sensibilité*, la *réponse en fréquence*, l'*impédance d'entrée*, la *gamme des vitesses de balayage* et les *dispositifs de synchronisation* (représentés en italiques sur la fig. 4).

4 Sensibilité verticale

La sensibilité de l'amplificateur vertical d'un oscilloscope indique la valeur du signal d'entrée la plus faible capable de produire un affichage vertical utilisable sur l'écran. En d'autres termes, elle vous

indique la tension d'entrée minimale pour laquelle on peut évaluer l'affichage ou la forme d'onde sur l'écran de l'oscilloscope.

Autrefois, les oscilloscopes servaient essentiellement à observer des ondes sinusoïdales; la sensibilité de l'amplificateur vertical était donc spécifiée en volts, ou millivolts efficaces, par pouce, ou par centimètre ou par division. Par exemple, si un oscilloscope avait un amplificateur vertical de sensibilité 0,04 V (volts) efficaces/cm, un signal sinusoïdal de tension effective 0,04 V apparaîtrait sur l'écran sous la forme d'une figure de 1 cm de hauteur. De même, un signal sinusoïdal de tension efficace 0,08 V produirait une figure de 2 cm, etc.

Certains oscilloscopes bon marché sont encore étalonnés en valeurs efficaces. Mais la plupart des oscilloscopes indiquent maintenant des volts crête-à-crête par centimètre (V/cm) ou par division. Un oscilloscope typique présente un amplificateur vertical de sensibilité 5 mV (millivolts) par centimètre, ou 5 mV/div. (L'expression «crête-à-crête» disparaît.) Cela signifie qu'un signal de tension crête-à-crête 5 mV va produire une image de 1 cm de hauteur (soit une division).

Un oscilloscope considéré comme ayant une sensibilité élevée peut afficher des signaux d'entrée plus faibles qu'un oscilloscope de faible sensibilité. L'introduction du radar, des circuits à impulsions, des ordinateurs et de la télévision a augmenté l'utilisation de la valeur «crête-à-crête» pour désigner la sensibilité. À l'heure actuelle, cette pratique s'est généralisée, et la méthode des valeurs efficaces est tout à fait périmée.

Un oscilloscope possède aussi une tension d'entrée nominale maximale, qui indique l'amplitude maximale que l'oscilloscope peut traiter sans distorsion de l'image ou détérioration des circuits d'entrée. Par exemple, un oscilloscope peut avoir une tension d'entrée nominale maximale de 300 V crête-à-crête, ce qui signifie qu'il peut traiter des signaux dont l'amplitude crête-à-crête peut atteindre 300 V. Une tension supérieure à cette valeur peut provoquer un claquage de composants ou d'autres détériorations du circuit d'entrée avec, comme conséquence, une distorsion de l'onde, ou un risque pour la sécurité.

5 Réponse en fréquence

Pour pouvoir afficher les nombreuses composantes qui constituent certains signaux, par exemple un signal vidéo en télévision, ou le balayage en fréquence d'une forme d'onde, ou d'autres formes d'onde non sinusoïdales, l'amplificateur vertical d'un oscilloscope doit avoir une réponse en fréquence à large bande. Vous vous rappelez que

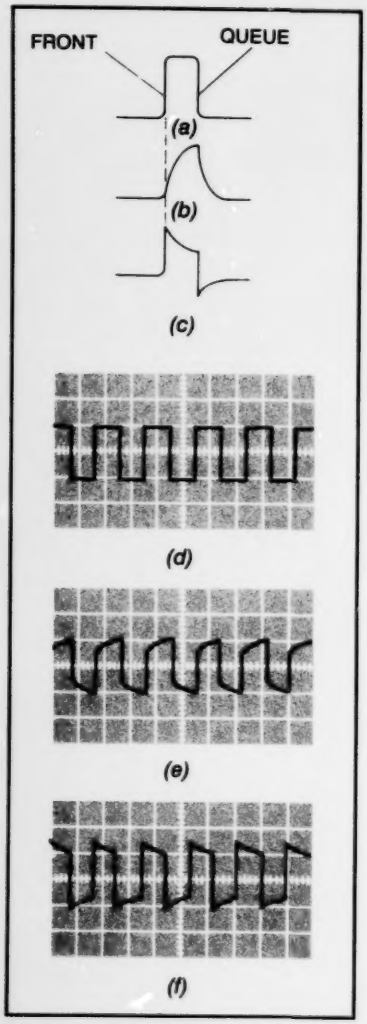


Fig. 5. La vue (*a*) présente une forme d'onde reproduite par un amplificateur vertical ayant une bonne réponse en haute fréquence et en basse fréquence. La vue (*b*) présente la déformation d'une forme d'onde due à une mauvaise réponse en haute fréquence. La vue (c) présente la déformation d'une forme d'onde provoquée par une mauvaise réponse en basse fréquence. Les impulsions sont habituellement vues sur l'écran sous la forme de trains, comme en (*d*), (*e*) et (*f*), qui correspondent respectivement à (*a*), (*b*) et (*c*).

la fréquence correspond à un «nombre de fois» par unité de temps. Si l'oscilloscope ne peut passer l'harmonique fondamentale et les autres harmoniques d'une forme d'onde donnée, l'image sur l'écran ne sera pas une représentation exacte du signal.

La **figure 5** montre la distorsion d'une impulsion provoquée par un amplificateur vertical ayant une mauvaise réponse en fréquence. La forme du front d'une impulsion bien formée (*a*)dépend de la reproduction des harmoniques supérieures qui constituent une forme d'onde non-sinusoïdale. Si ces harmoniques supérieures sont trop fortement atténuées (réduites), le temps de montée de l'impulsion (au niveau du front et de la queue) est trop rapide pour la réponse en fréquence de l'amplificateur. Les bords auront l'air replié, comme sur la figure 5 (*b*), et l'impulsion affichée sera distordue. Plus le temps de montée d'une impulsion est court, plus importante doit être la réponse en haute fréquence du système amplificateur de l'oscilloscope.

Généralement, la durée de l'impulsion est d'autant plus faible, et le temps de montée est d'autant plus court, que la fréquence de répétition de l'impulsion est plus élevée (c'est-à-dire le nombre d'apparitions de la forme d'onde pendant un temps donné). (Par *durée*, on entend le temps que dure une forme d'onde, ou une partie de forme d'onde). Certains signaux de télévision, dont la fréquence de répétition est de 15 750 impulsions par seconde, passent du minimum au maximum en environ 1/4 de µs (microseconde). Un oscilloscope doit avoir une réponse en fréquence linéaire supérieure à 2 MHz (mégahertz) pour que le front du signal horizontal passe avec une distorsion négligeable. (Au lieu de *mégahertz*, on utilisait autrefois le terme *mégacycle*.) Un hertz est donc équivalent à un cycle.

De même, il est important qu'un oscilloscope puisse faire passer des harmoniques d'ordre très inférieur, si la partie supérieure d'une impulsion doit être affichée sans distorsion. La partie supérieure d'une impulsion représente une tension constante qui doit être maintenue pendant un temps très long. Cette tension constante, tout comme une tension continue sur cet intervalle, impose à l'amplificateur vertical certaines conditions au niveau des basses fréquences. **(Un amplificateur vertical doit avoir une très bonne réponse en basse fréquence s'il doit conserver une tension constante pendant un certain temps).**

Si la réponse en basse fréquence est inadéquate, la partie supérieure de l'impulsion s'incurve (fig. 5 (*c*)). Dans certaines applications électroniques industrielles, il est nécessaire d'avoir un oscilloscope dont la réponse en basse fréquence descend jusqu'à la fréquence du courant continu, soit 0 Hz (hertz). Les vues (*d*), (*e*) et (*f*) indiquent la manière dont les impulsions (*a*), (*b*) et (*c*) apparaîtraient sur l'écran, sous forme d'un train d'impulsions.

6 Impédance d'entrée

L'impédance d'entrée d'un oscilloscope indique l'effet de charge qu'aura l'oscilloscope sur le circuit en cours d'essai. Un oscilloscope est généralement considéré comme un appareil de mesure à haute impédance. Il peut cependant avoir un net effet de charge sur les circuits à haute impédance et les composantes haute fréquence du signal. L'impédance d'entrée d'un oscilloscope est exprimée par sa résistance de shunt et sa capacité. Dans l'exemple des **figures 6** (*a*) et (*b*), on suppose que l'oscilloscope possède une impédance d'entrée de 2 MΩ (mégohms), shuntée par une capacité de 20 pF (picofarads). En conséquence, tout circuit auquel l'oscilloscope est rattaché est shunté par cette résistance de 2 MΩ et cette capacité de 20 pF.

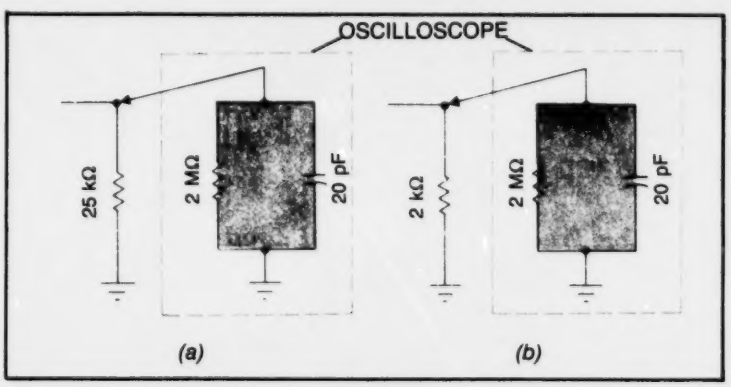


Fig. 6. Sur les figures (*a*) et (*b*), l'effet de charge est faible ou nul à la fréquence de 320 Hz. Cependant, en (*a*), la charge de l'oscilloscope est en réalité de 17 675 kΩ à 320 kHz, alors qu'en (*b*), la charge est très faible à 320 kHz.

Vis-à-vis d'un circuit électronique basse fréquence, par exemple 320 Hz, d'impédance très inférieure à 2 MΩ, l'oscilloscope ne présente pas d'effet de charge significatif. Mais à haute fréquence, par exemple 320 kHz (kilohertz), l'impédance présentée par l'oscilloscope tombe très en-dessous de 2 MΩ, car la réactance de la capacité de 20 pF diminue quand la fréquence augmente. À la fréquence de 320 kHz, la réactance capacitive est d'environ 25 000 Ω (ohms), soit

25 kΩ (kilohms). Du fait de cette réactance relativement faible, l'impédance en courant alternatif de la résistance de charge combinée (résistance d'entrée et capacité de shunt) est équivalente à 17 675 Ω (fig. 6 (*a*)). L'amplitude de la forme d'onde se réduit donc d'environ 30 % (pour cent), différence entre 25 kΩ et 17 675 Ω. L'atténuation sera même encore plus forte avec les composantes à fréquence plus élevée.

Bien qu'un oscilloscope présente une impédance d'entrée pouvant aller jusqu'à plusieurs mégohms à basse fréquence, son impédance d'entrée diminue à une valeur relativement faible aux hautes fréquences, car la réactance capacitive diminue. Il est donc important de brancher l'oscilloscope à un point de basse impédance quand l'essai porte sur des formes d'onde contenant des composantes haute fréquence. Par exemple, si l'oscilloscope est branché aux bornes d'un circuit de 2 kΩ (fig. 6 (*b*)) au lieu d'un point d'impédance de 25 kΩ, la fréquence à laquelle la réponse tombe de 30 % est beaucoup plus élevée, un peu supérieure à 4 MHz. La réponse haute fréquence de l'amplificateur vertical est d'autant meilleure qu'est plus élevée l'impédance d'entrée de l'oscilloscope à haute fréquence. De même, la reproduction du signal sur l'écran est d'autant plus exacte qu'est plus faible l'impédance aux bornes desquelles l'oscilloscope est branché.

7 Gamme des vitesses de balayage

Pour avoir une reproduction exacte des formes d'onde étudiées, il est important d'avoir une gamme de fréquences variable et une bonne linéarité de l'amplificateur de déviation horizontale. Les plaques de déviation horizontale commandent le déplacement horizontal du faisceau, souvent appelé «base de temps». Habituellement, le signal appliqué à ces plaques se présente sous la forme d'une forme d'onde linéaire en dents de scie, ou base de temps. Plus grande est la fréquence de la base de temps, plus vite le faisceau se déplace de gauche à droite sur l'écran, et plus la forme d'onde observée est «étalée». On peut donc, en faisant varier la fréquence de la base de temps, ralentir le balayage et afficher plusieurs cycles d'une forme d'onde, ou encore accélérer le balayage, pour pouvoir n'examiner qu'une partie d'une forme d'onde.

Un commutateur placé sur le panneau de l'oscilloscope permet de couper le générateur ou l'oscillateur de la base de temps. On peut alors appliquer aux plaques de déviation horizontale un signal de balayage externe en remplacement du balayage interne.

8 Dispositifs de synchronisation

Un oscilloscope type possède normalement un sélecteur de synchronisation qui permet de synchroniser le générateur de la base de temps horizontal *et* le signal interne (à observer sur l'écran); ou un signal externe, ou la fréquence de 60 Hz du secteur. Normalement, le *sélecteur de synchronisation* est ajusté de façon à utiliser une synchronisation interne. Dans cette position, une partie du signal amplifié est utilisée pour synchroniser le générateur de base de temps. Si ce dernier est synchronisé sur le signal d'entrée, celui-ci apparaît sur l'écran sous la forme d'une courbe stable.

Quand le *sélecteur* est mis sur la position de synchronisation externe, on peut appliquer au générateur de base de temps un signal de synchronisation externe. Dans cette position du sélecteur de synchronisation, le générateur de base de temps interne n'est pas utilisé.

Dans le cas des signaux électroniques dont la fréquence est celle du secteur (60 Hz) ou correspond à une harmonique, le sélecteur de synchronisation peut être mis sur la position 60 Hz ou synchronisation secteur. Une composante sinusoïdale de 60 Hz est alors appliquée au générateur de la base de temps horizontal en guise de signal de synchronisation.

9 Caractéristiques de l'écran

Un écran de tube cathodique possède deux caractéristiques importantes: sa *persistance* et sa *vitesse d'impression.* On appelle persistance le temps pendant lequel le spot lumineux continue à briller après passage du faisceau électronique. La persistance peut être longue, moyenne ou courte. Pour les variations de tension haute fréquence, il est préférable d'avoir une courte persistance. Si l'écran doit afficher l'image pendant un certain temps, il convient toutefois que la persistance soit plus longue.

La vitesse d'impression est la vitesse à laquelle le spot lumineux se déplace horizontalement sur l'écran. La vitesse d'impression est une caractéristique importante de l'écran, en particulier quand on veut photographier l'image affichée. Si le spot se déplace trop vite, l'écran s'assombrit (à moins que l'intensité du faisceau n'ait été ajustée à une valeur suffisante pour assurer une bonne exposition du film).

Il existe une relation entre la vitesse d'impression et la persistance. Par exemple, certains oscilloscopes ont une persistance variable. Une combinaison d'une vitesse d'impression élevée et d'une persistance variable permet à l'opérateur de surveiller les formes d'onde qui apparaissent de façon irrégulière ou aléatoire.

Exercice de contrôle 1

Faites une pause pour revoir quelques points-clés sur les principes de base d'un oscilloscope. Maintenant répondez aux questions suivantes. Vérifiez vos réponses et si elles sont différentes des nôtres vous trouverez l'explication à la section donnée à chaque réponse.

Vos réponses

1. L'écran d'un oscilloscope affiche la manière dont la tension varie avec: 1. _____
   A. la fréquence. *C.* le temps.
   B. l'amplitude. *D* la vitesse.

2. Un faisceau électronique subit une déviation horizontale s'il y a une _____ entre les plaques horizontales. 2. _____

3. La forme d'onde ci-dessous indique une mauvaise _____ de l'amplificateur vertical de l'oscilloscope. 3. _____

4. Comment appelez-vous l'effet de charge qu'a un oscilloscope sur un circuit d'essai? 4. _____

5. S'il faut qu'un oscilloscope conserve l'image affichée pendant de longues périodes, vous vous intéressez au (à la) _____ de l'écran. 5. _____
   A. étalonnage *C.* vitesse d'inscription
   B. impédance *D.* persistance

Réponses aux questions de l'exercice de contrôle 1

1. *C.* le temps. Section 1
2. différence de potentiel Section 2
3. réponse en basse fréquence Section 5, fig. 5
4. une impédance d'entrée Section 6
5. *D.* persistance Section 9

Les commandes de l'oscilloscope

10 Commandes fondamentales

Le panneau avant d'un oscilloscope possède de nombreux sélecteurs et commandes (**fig. 7**). Le nombre de ces commandes et sélecteurs dépend de l'application particulière pour laquelle a été conçu l'oscilloscope. Cependant, on peut partager ces commandes et sélecteurs en quatre groupes principaux:

1. **Section tube cathodique**
2. **Section déviation verticale**
3. **Section déviation horizontale**
4. **Section bornes**

Nous allons étudier les commandes de chacune de ces sections. Notre modèle de référence sera l'oscilloscope que montre la figure 7.

Courtoisie de EICO Electronic Instrument Co., Inc.

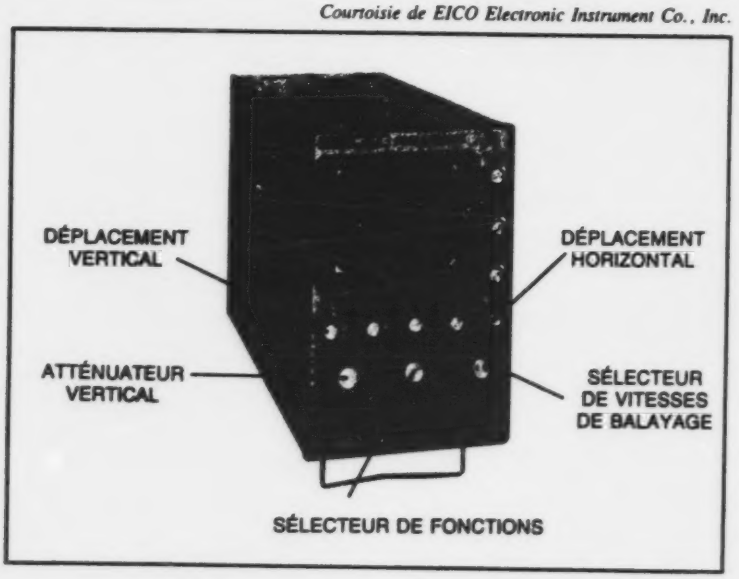


Fig. 7. Les oscilloscopes possèdent différents types de commandes, de sélecteurs et de bornes d'entrée. L'utilisateur peut ainsi en tirer un avantage maximal.

11 Commandes de la section du tube cathodique

La section tube cathodique possède deux commandes de base: l'intensité et la concentration. La commande d'intensité permet de contrôler le nombre d'électrons du faisceau, et donc la luminosité de l'écran au point d'impact du faisceau. La commande de focalisation permet de régler la tension appliquée à l'anode de concentration, jusqu'à ce que les traces sur l'écran soient aussi étroites et bien définies que possible. Les figures sur l'écran sont alors nettes et claires.

12 Commandes de la section de déviation verticale

L'oscilloscope de la figure 7 possède trois commandes de déviation verticale: le sélecteur d'entrée verticale, la commande de gain vertical et la commande de déplacement.

Le sélecteur d'entrée verticale, appelé VERT INPUT, sert à atténuer le signal entrant avant son application à l'amplificateur vertical. Ce sélecteur d'atténuation, étalonné en rapports de tension de 0,1 à 100, permet d'afficher sur l'écran une large gamme de signaux d'entrée. Par exemple, si l'atténuateur d'entrée verticale est sur la position $\times 10$, tout signal appliqué à V INPUT va être réduit à son dixième. Si le sélecteur V INPUT est placé sur $\times 100$, le signal d'entrée de l'amplificateur vertical tombe au centième de sa valeur (pas de réduction sur la position $\times 1$).

La commande de gain vertical, appelée VERT GAIN, permet de régler la hauteur de l'image affichée sur l'écran. Cette commande est utilisée avec le sélecteur d'atténuation verticale pour régler la hauteur de la trace à la valeur désirée.

La commande de déplacement vertical, qui porte habituellement une double flèche verticale ↕, vous permet de centrer l'image affichée sur l'écran, pour la mettre dans la meilleure position possible du point de vue de l'observation et de la mesure. Une commande analogue existe pour le déplacement horizontal. Les commandes de déplacement vertical et de déplacement horizontal sont indépendantes l'une de l'autre. Elles modifient le potentiel des plaques de déviation, pour déplacer l'image vers toute position commode de l'écran.

13 Commandes de la section de déviation horizontale

Comme un oscilloscope affiche toujours une tension en fonction du temps, on a besoin de commandes pour disposer de différentes fréquences de balayage. Pour l'oscilloscope montré sur la figure 7, ces commandes sont le sélecteur de vitesses de balayage, la commande de déviation du balayage, le sélecteur horizontal et la commande de gain horizontal.

Le sélecteur de balayage fixe la fréquence du générateur base de temps horizontal pour toutes les gammes de fréquences correspondant à la fréquence du signal mesuré. Le générateur de base de temps horizontale, que l'on appelle aussi oscillateur en dents de scie, crée une onde en dents de scie qui provoque le déplacement horizontal du faisceau électronique sur l'écran.

La commande de déviation du balayage, souvent appelée *vernier*, sert à régler plus finement la fréquence sur la gamme de fréquences particulière choisie par le sélecteur des vitesses de balayage. Cette commande permet de s'accorder avec précision sur la fréquence du signal d'entrée: elle est réglée sur une fréquence sous-harmonique de façon à ce que l'écran puisse afficher un, deux, trois cycles complets ou plus du signal.

Le sélecteur horizontal est aussi appelé sélecteur de fonctions. Si un signal externe doit être appliqué aux plaques horizontales, le sélecteur horizontal est mis sur la position HOR EXT. Le générateur de base de temps horizontale interne est alors débranché, et les bornes d'entrée horizontales sont reliées à l'entrée de l'amplificateur horizontal. Cet oscilloscope possède aussi une HOR LINE, qui vous permet d'introduire une tension sinusoïdale de 60 ou 120 Hz à titre de signal de déviation dans l'amplificateur horizontal.

Les positions LINE et EXT ont été expliquées plus haut, et on a aussi touché un mot de la fonction de la position INT. Cependant, nous n'avons pas mentionné qu'il y a habituellement, comme sur la figure 7, deux positions INT : +INT et −INT. Dans la pratique, vous devez choisir celle qui vous donne sur l'écran l'image la plus stable. Dans la plupart des cas, il s'agit de celle dont la polarité des signaux possède des pics réguliers d'amplitude maximale. Par exemple, si l'impulsion de synchronisation d'un signal TV va dans le sens positif, il faut choisir la position +INT.

Avant l'application du signal en dents de scie aux plaques de déviation horizontale de l'oscilloscope, un amplificateur horizontal augmente la tension de l'onde en dents de scie. La commande de gain horizontal vous permet de régler l'espace que l'image occupe horizontalement, en dilatant ou contractant l'image dans le sens horizontal.

La *commande de déplacement horizontal*, portant uniquement la double flèche (↔) horizontale, vous permet de déplacer la totalité de l'image vers la droite ou vers la gauche de l'écran.

14 Commandes de la section des bornes

Le dernier groupe de commandes et de sélecteurs se trouvant sur le panneau frontal de l'oscilloscope (**fig. 7**) comprend onze bornes d'entrée, un commutateur à glissoire, et un bouton marche-arrêt et contrôle de phase. Le commutateur à glissoire, portant la marque AC GND DC, sert à sélectionner l'entrée de l'amplificateur vertical. On tourne le bouton marche-arrêt dans le sens des aiguilles d'une montre pour mettre l'oscilloscope sous tension et assurer le rephasage. Quand on touche à la section phase de la commande, elle modifie la phase de la tension 60 Hz sur la position HOR LINE du sélecteur de balayage.

Les trois bornes situées à gauche du commutateur à contact glissant portent la marque V INPUT. Ce sont les bornes d'entrée verticale. La borne V INPUT de gauche est connectée à la borne centrale (borne de la mise à la masse) à l'aide d'un cavalier. Pour obtenir une sensibilité sur la totalité de l'écran et observer un signal équilibré, on doit enlever le cavalier et injecter le signal à observer aux bornes V INPUT de chaque côté de la borne de terre.

Les fonctions des huit autres bornes, de gauche à droite et de haut en bas, sont les suivantes:

1, 5 (EXT.CAP.): Bornes pour les condensateurs externes, utilisées pour réduire à 1 Hz la vitesse de balayage horizontal.

2 (H-INPUT EXT.SYNC.): Bornes acceptant les signaux de synchronisation externes.

3 Borne de masse.

4 (Z-AXIS): Borne permettant la modulation de l'intensité de la trace au moyen de marqueurs de fréquence, d'impulsions de synchronisation ou d'autres signaux.

6 (SAWTOOTH): Borne donnant un signal de sortie en dents de scie, pour les essais.

7 Borne de masse.

8 (LINE OUT): Borne pour échantillonner la fréquence du secteur.

Ce sont là les commandes de base, que l'on trouve dans presque tous les oscilloscopes. La plupart des oscilloscopes que vous utiliserez possèdent d'autres fonctions et des commandes supplémentaires. Par exemple, la plupart des oscilloscopes possèdent un circuit d'étalonnage qui comprend une commande et une source de tension connue, que l'on peut utiliser pour étalonner l'écran (en tension) sur les différentes gammes.

Comme avec tous les appareils de mesure, il convient de consulter le manuel d'instructions du fabricant, livré avec l'oscilloscope, pour identifier les différentes commandes et savoir comment il faut les utiliser pour tirer un avantage maximal de l'appareil.

Exercice de contrôle 2

Il est temps de faire une deuxième pause pour vérifier vos connaissances sur les commandes de base d'un oscilloscope. Comme précédemment, vous devez répondre aux questions et comparer vos réponses aux nôtres. Si vos réponses sont différentes des nôtres, reportez-vous aux sections indiquées.

1. Quelles sont les quatre principales sections de commande de l'oscilloscope montré sur la figure 7?

2. Pour l'oscilloscope représenté ci-dessous, indiquer dans la colonne de droite la lettre correspondant à la bonne définition.

Vos réponses

1. _____
   _____
   _____
   _____

2. ___ Commande la luminosité du faisceau.
   ___ Déplace l'image vers le haut ou vers le bas.
   ___ Fait varier la hauteur de l'image.
   ___ Modifie la gamme des fréquences de balayage.
   ___ Met l'oscilloscope sous tension ou hors tension.
   ___ Fournit une sortie à la fréquence du réseau.

Réponses aux questions de l'exercice de contrôle 2

1. Section tube cathodique
   Section déviation
   Section déviation horizontale
   Section bornes
   Section déviation verticale
   Section 10, fig. 7

2. *b* Commande la luminosité du faisceau.
   Section 11, fig. 7
   e Déplace l'image vers le haut ou vers le bas.
   Section 12, fig. 7
   f Fait varier la hauteur de l'image.
   Section 12, fig. 7
   c Modifie la gamme des fréquences de balayage.
   Section 13, fig. 7
   a Met l'oscilloscope sous tension ou hors tension.
   Section 14, fig. 7
   d Fournit une sortie à la fréquence du réseau.
   Section 14, fig. 7

Les mesures de base effectuées sur un oscilloscope

15 Application de signaux à un oscilloscope

Nous allons maintenant étudier ce qui se passe à l'intérieur d'un oscilloscope et supposer que le signal étudié est appliqué à une plaque de déviation verticale, le signal base de temps étant appliqué à l'une des plaques de déviation horizontale. Or, vous savez que la position du faisceau d'électrons varie avec la tension appliquée aux plaques de déviation. Et comme cette déviation est directement proportionnelle à la tension appliquée, le faisceau suit les variations du signal, en traçant sur l'écran fluorescent une image lumineuse de ces variations.

16 Formes d'ondes en dents de scie

Comment une variation de la tension peut-elle influer sur le faisceau électronique? Supposons d'abord que l'on applique uniquement à la plaque de déviation verticale supérieure (*V*) une tension progressivement croissante (**fig. 8** (*a*)); et supposons que les trois autres plaques soient toutes reliés à la masse. Cette tension progressivement croissante est appelée tension en dents de scie, à cause de sa forme d'onde. Quand la tension varie d'un potentiel négatif (−) au potentiel zéro puis à un potentiel positif (+), la position du faisceau, au départ au-dessous du centre de l'écran, arrive au centre de l'écran puis à sa partie supérieure. On obtient une ligne verticale.

Si on enlève de la plaque de déviation verticale *V* la tension en dents de scie et si on l'applique à la plaque de déviation horizontale de droite *H*, on obtient sur l'écran une ligne horizontale. Quand l'augmentation linéaire de la tension en dents de scie est appliquée à la plaque de déviation horizontale de droite (fig. 8 (*b*)), le faisceau se déplace à vitesse constante de la gauche (*L*) vers la droite (*R*) en traversant l'écran. Quand la tension en dents de scie atteint sa valeur maximale, le faisceau se trouve à droite de l'écran. À ce moment, se produit une chute rapide de l'amplitude de la tension en dents de

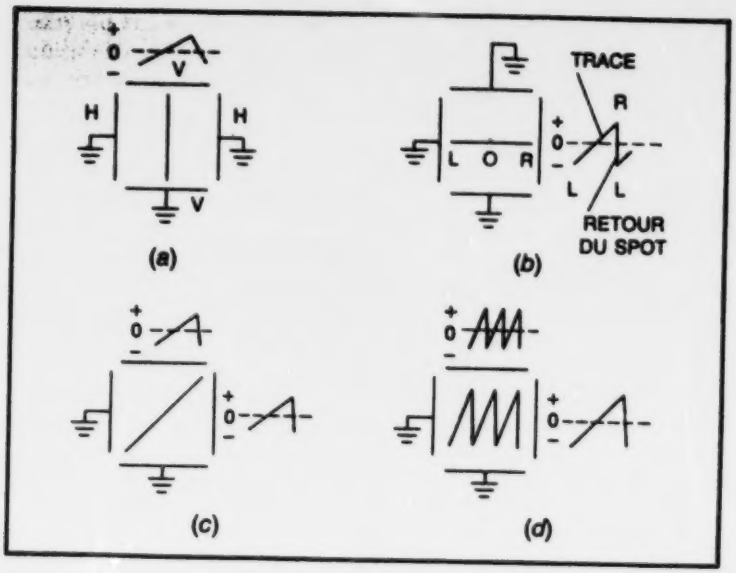


Fig. 8. Les tensions appliquées aux plaques de déviation verticale et horizontale permettent au faisceau de produire une figure qui représente le signal d'entrée par rapport au temps.

scie. C'est ce qu'on appelle le retour du spot. Pendant le temps de retour du spot, le faisceau revient très rapidement de la droite vers la gauche en traversant l'écran. Comme ce déplacement est extrêmement rapide, la ligne de retour du spot est très peu visible par rapport à la trace de l'onde en dents de scie. Du fait que cette ligne de retour du spot peut interférer avec l'interprétation de l'image sur l'écran, la plupart des oscilloscopes possèdent un circuit *suppresseur de faisceau*, qui interrompt le faisceau pendant le retour du spot.

Il est important de se rappeler qu'une onde en dents de scie appliquée aux plaques horizontales produit un déplacement linéaire du faisceau en fonction du temps, pendant qu'il se déplace de gauche à droite sur l'écran. De plus, le déplacement du faisceau de gauche à droite est d'autant plus rapide que la fréquence de l'onde en dents de scie est plus élevée, c'est-à-dire qu'elle passe plus vite de sa valeur minimale à sa valeur maximale.

Si l'on applique simultanément aux deux paires de plaques de déviation une onde en dents de scie ayant la même fréquence, le faisceau est tiré vers le haut en admettant qu'il se déplace de gauche à droite. On obtient alors sur l'écran une diagonale, comme sur la figure 8 (*c*).

Si la fréquence de l'onde en dents de scie appliquée à la plaque verticale augmente au point d'atteindre le triple de la fréquence de l'onde en dents de scie appliquée à la plaque horizontale, le faisceau se déplace trois fois vers le haut et vers le bas pour chaque déplacement de gauche à droite. On obtient donc sur l'écran trois ondes en dents de scie, comme en (*d*).

Habituellement, le signal à étudier est appliqué aux plaques de déviation verticale, et on injecte sur les plaques de déviation horizontale une forme d'onde en dents de scie, ou base de temps, linéaire. La forme d'onde en dents de scie donne une image horizontale linéaire du signal vertical.

Comme une onde en dents de scie appliquée aux plaques de déviation horizontale d'un oscilloscope correspond à un espace de temps linéaire, on peut utiliser un oscilloscope pour observer la forme d'onde de n'importe quel signal appliqué à sa plaque verticale: onde sinusoïdale, onde en dents de scie, impulsion, ou tout autre type d'onde non sinusoïdale.

17 Formes d'ondes sinusoïdales

Si l'on applique une onde sinusoïdale aux plaques verticales, avec la même fréquence que l'onde en dents de scie horizontale, l'onde sinusoïdale est reproduite sur l'écran, comme le montre la **figure 9** (*a*). Si l'on applique aux plaques verticales deux cycles d'une onde sinusoïdale pour chaque onde en dents de scie horizontale appliquée à la plaque horizontale, comme en (*b*), on aura sur l'écran approximativement deux cycles complets de l'onde sinusoïdale (une très faible partie du signal observé n'apparaît pas sur l'écran. En effet, il faut prendre en compte le temps pendant lequel il y a retour du spot de la droite vers la gauche).

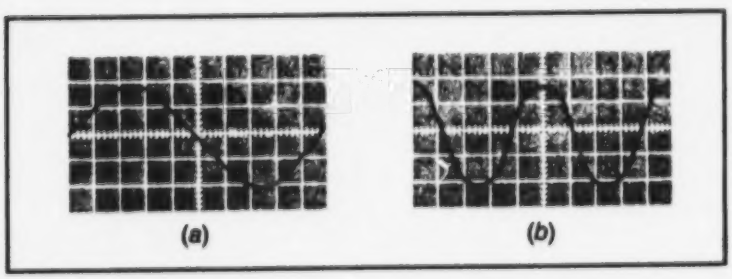


Fig. 9. L'onde sinusoïdale représentée en (*a*) a la même fréquence que l'onde en dents de scie horizontale produite par l'oscilloscope. Une onde sinusoïdale dont la fréquence est le double de la fréquence de l'onde en dents de scie horizontale est représentée en (*b*).

On peut déterminer le nombre de cycles du signal appliqué qui apparaîtront sur l'écran si l'on commande la fréquence de l'onde en dents de scie horizontale par rapport à la fréquence de l'onde d'entrée. À partir d'un certain point, une diminution de la fréquence horizontale conduit à un clignotement désagréable de la forme d'onde.

Du fait que le temps de balayage est étalonné, la fréquence (*f*) de signaux tels que des ondes sinusoïdales peut être mesurée. Supposons qu'il faille 5 cm pour afficher un cycle d'une onde sinusoï-

dale quand la vitesse de balayage est de 10 µs par centimètre. La période, ou temps (T) d'un cycle, est alors:

$$T = 5 \times 10 = 50\ \mu s = 50 \times 10^{-6} s.$$

La fréquence de l'onde sinusoïdale est l'inverse de la période:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{50 \times 10^{-6}} = 0{,}02\ \text{MHz, ou } 20\,000\ \text{Hz}$$

18 Les oscillogrammes caractéristiques

Quand on applique de l'extérieur des ondes sinusoïdales aux plaques de déviation verticale et horizontale, on obtient des oscillogrammes caractéristiques, appelés figures de Lissajous. Quand des ondes sinusoïdales de fréquence identique sont appliquées tant aux plaques horizontales qu'aux plaques verticales, il apparaît sur l'écran une figure unique. Cette figure peut être une diagonale, une ellipse ou un cercle, selon le déphasage des deux ondes sinusoïdales appliquées. Si ces deux ondes sont exactement en phase, ou déphasées de 180°, on a une diagonale, comme sur la **figure 10** (*a*). (En (*a*), la ligne

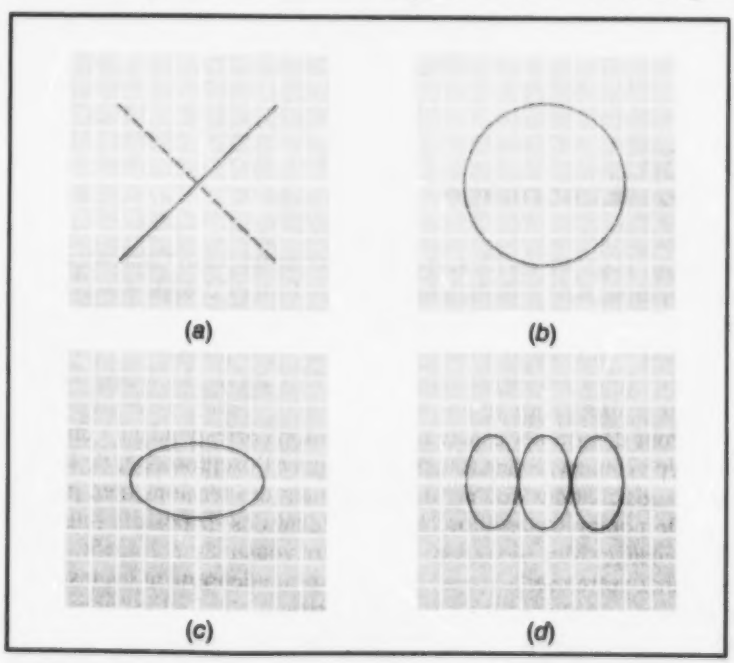


Fig. 10. On utilise les figures de Lissajous pour déterminer les relations entre fréquences. Les figures ci-contre présentent quelques courbes caractéristiques de Lissajous.

en tirets indique que la diagonale peut être orientée de deux manières différentes.) Si le déphasage est de 90°, on a un cercle si les deux ondes sinusoïdales ont la même amplitude (*b*). Un oscilloscope donne donc un excellent moyen de mesurer les déphasages entre deux ou plusieurs formes d'onde.

On peut aussi utiliser l'affichage d'une onde sinusoïdale pour mesurer des audiofréquences et des fréquences plus élevées. Si l'on applique un signal de fréquence étalon connue aux plaques de déviation horizontale à l'aide d'un générateur de signaux, on peut déterminer la fréquence d'un signal inconnu appliqué à la plaque de déviation verticale. Comme nous l'avons dit, si le signal appliqué à la plaque de déviation verticale a la même fréquence que le signal appliqué à la plaque de déviation horizontale, on a sur l'écran une diagonale (fig. 10 (*a*)), un cercle fixe (*b*) ou une ellipse (*c*).

Si les fréquences ne sont pas exactement les mêmes, mais sont un *multiple l'une de l'autre*, on a sur l'écran une série de boucles fermées, comme en (*d*). Chaque relation entre fréquences définit un oscillogramme particulier appelé figure de Lissajous. Quand on connaît les figures caractéristiques, on peut établir rapidement les rapports de fréquence vertical/horizontal. Nous en parlerons plus en détail à propos de la mesure des fréquences.

19 Étalonnage

Répétons-nous: un oscilloscope visualise sur un écran fluorescent les valeurs instantanées de la tension (et les formes d'onde associées), de sorte que l'observateur peut voir exactement les variations de la tension d'un circuit en fonction du temps. Vous pouvez déterminer la valeur (ou l'amplitude) du signal grâce au déplacement vertical (ou hauteur) du signal sur l'écran.

Pour déterminer exactement la tension correspondant à un certain déplacement, il faut toutefois étalonner l'oscilloscope, de façon que les graduations de l'écran représentent des tensions bien précises. De nombreux oscilloscopes possèdent des dispositifs internes d'étalonnage. Mais si vous voulez le faire vous-même, il suffit, pour étalonner votre oscilloscope, de suivre scrupuleusement les instructions se trouvant dans le manuel du fabricant. Nous allons vous présenter deux méthodes d'étalonnage. Elles vous familiariseront avec

les techniques générales d'étalonnage qui s'appliquent à un oscilloscope ne possédant pas d'étalonnage incorporé. Rappelez-vous qu'il ne s'agit là que d'instructions générales, et non pas de directives pas à pas.

20 Étalonnage à l'aide d'une tension continue

Cette méthode vous permet d'étalonner le système de déviation verticale de l'oscilloscope par comparaison avec une tension continue connue. Son principal inconvénient est le suivant: l'oscilloscope doit être réétalonné chaque fois que l'on modifie le réglage de la commande de gain vertical; en outre, l'amplificateur vertical doit être à couplage direct.

Pour étalonner un oscilloscope par la méthode de la tension continue, mettre d'abord au zéro la commande de gain vertical. Puis, sans appliquer de tension aux bornes d'entrée verticale, établir une ligne de base, de tension nulle, en mettant en marche le balayage interne. On ajuste ensuite les boutons de positionnement horizontal et vertical pour obtenir une ligne horizontale au centre de l'écran.

On applique ensuite une tension continue connue aux bornes d'entrée verticale. On règle ensuite la commande d'atténuation verticale et la commande de gain vertical, jusqu'à ce que la ligne horizontale monte de quatre divisions. Par exemple, si l'on applique une tension d'étalonnage de 400 mV, et que les divisions principales de l'écran sont en centimètres, on doit régler la commande de gain vertical jusqu'à ce que la ligne horizontale monte de quatre divisions sur l'écran. Chaque division principale de 1 cm correspond alors à 0,1 V. Quand l'atténuateur vertical est réglé sur 1, l'amplitude de la tension crête-à-crête de la forme d'onde appliquée est égale au dixième du nombre de divisions sur l'écran. Une forme d'onde qui occupe trois divisions et demie (3,5) a donc une tension crête-à-crête de 0,35 V.

Si l'atténuateur vertical est réglé sur 10, pour obtenir une figure couvrant trois divisions et demie, la tension crête-à-crête est de 3,5 V; si l'atténuateur est réglé à 1000, la tension crête-à-crête est de 350 V, etc. Un point important: dès que l'étalonnage est terminé, il ne faut plus toucher à la commande de gain vertical. Sinon, il faut recommencer l'étalonnage.

21 Étalonnage à l'aide d'une tension alternative

Il existe une autre méthode d'étalonnage, qui permet d'utiliser l'oscilloscope quelle que soit la position de la commande de gain vertical. Cette technique exige une source précise de signaux alternatifs (par exemple un générateur alternatif étalonné), qui peut être autonome ou incorporé dans l'oscilloscope. Le générateur d'étalonnage fournit à l'oscilloscope un signal carré mesuré. Ce signal d'étalonnage est ensuite réglé de façon à avoir exactement la même hauteur que l'onde produite par le signal testé (**fig. 11**). La tension crête-à-crête correspondante du signal testé peut être directement lue sur les cadrans du générateur d'étalonnage. (Nous discuterons plus en détail de l'étalonnage et de la mesure numérique à la fin de ce cours.)

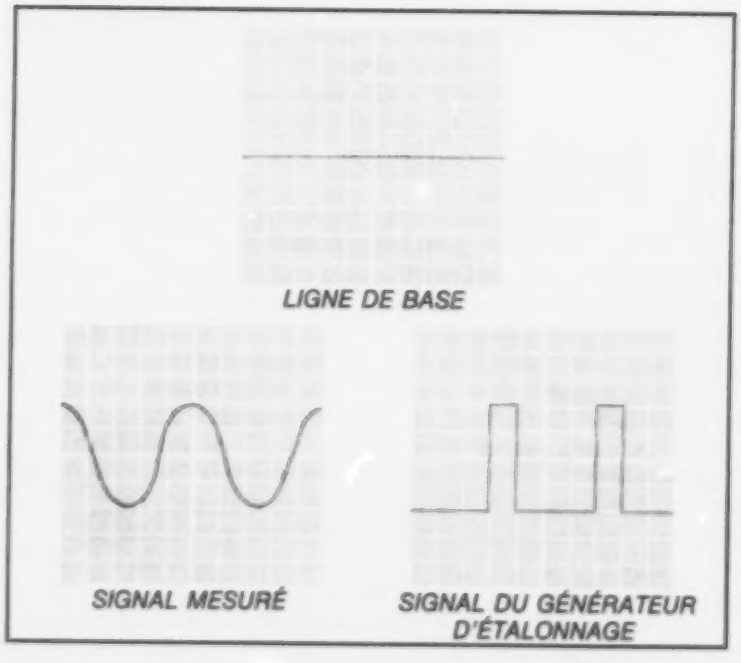


Fig. 11. Le générateur d'étalonnage fournit d'abord un signal carré à l'oscilloscope. Ce signal est réglé par les commandes du générateur d'étalonnage jusqu'à ce que l'onde d'étalonnage ait la même hauteur que l'onde produite par le signal inconnu (c'est-à-dire le signal mesuré).

22 Réglage du balayage

Les oscilloscopes universels, tel celui de la figure 7, possèdent des commandes de balayage horizontal et des commandes à vernier, plus un amplificateur horizontal et des commandes de positionnement horizontal.

Ces commandes vous permettent de régler le balayage à la fréquence indiquée (approximativement) par la position du cadran de fréquence de balayage. Par exemple, si le cadran est réglé en un point compris entre 10 K et 100 K, vous savez que le balayage horizontal s'effectue à une fréquence supérieure à 10 000 Hz. Bien sûr, vous ne connaissez pas la fréquence exacte, mais une approximation est largement suffisante.

D'autres oscilloscopes, un peu plus chers, possèdent un système de balayage à base de temps étalonné. Dans ces appareils, la commande de fréquence de balayage est étalonnée et graduée en millisecondes par division (ms/div), microsecondes par division (µs/div) ou microsecondes par centimètre (µs/cm). Dans ce cas, l'écran, de l'oscilloscope est habituellement gradué en centimètres. Avec un oscilloscope à balayage étalonné, on peut mesurer et lire directement à partir de la commande de balayage étalonné la durée d'impulsion, le temps de montée et le temps de descente des signaux mesurés.

Si la commande est placée sur la position 1 ms/cm (milliseconde par centimètre), et si une impulsion observée sur l'écran occupe 3 cm (c'est-à-dire trois divisions), comme le montre la **figure 12** (*a*), la durée de l'impulsion, de son front montant à son front descendant, est de 3 ms. Comme toutes les impulsions, dans la pratique, possèdent au moins une légère pente de chaque côté, on mesure cou-

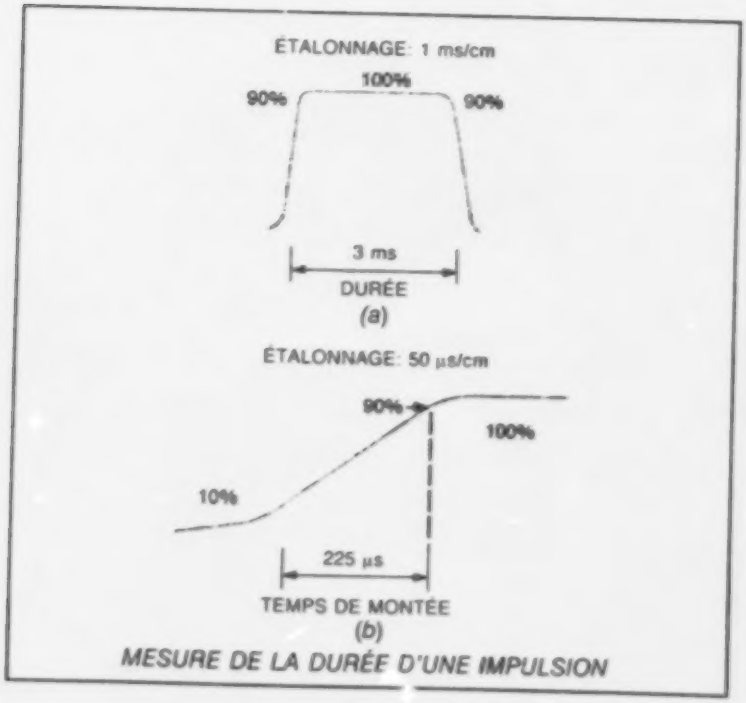


Fig. 12. En (*a*), la mesure de la durée complète de l'impulsion est déterminée entre l'amplitude 90 % sur le front montant et l'amplitude 90 % sur le front descendant. En (*b*), on considère le temps de montée de l'impulsion entre l'amplitude 10 % et l'amplitude 90 %.

ramment, dans la pratique, la largeur d'une impulsion entre 90 % de l'amplitude du front montant et 90 % de l'amplitude du front descendant.

Pour mesurer le temps de montée de l'impulsion, c'est-à-dire le temps entre l'amplitude 10 % et l'amplitude 90 %, on étale le front montant en augmentant le réglage de la commande de la fréquence de balayage, pour avoir une vitesse de balayage plus grande (quelques microsecondes par division). Sur la figure 12 (*a*), on voit que la largeur de l'impulsion (ou durée de l'impulsion) est de 3 ms; en (*b*), le temps de montée est de 225 µs. En (*a*), le balayage est étalonné à 1 ms/cm. En (*b*), la vitesse de balayage est de 50 µs/cm. Pour obtenir ce réglage, on a fait tourner le cadran vers la droite jusqu'à l'affichage d'un bon front montant (on a trouvé que le réglage correspondait à la position 50 µs/cm). Le front montant occupe alors 4,5 divisions, comme on le voit en (*b*), ce qui indique que le temps de montée de l'impulsion est de 225 µs.

23 Mesure des amplitudes

Un oscilloscope peut mesurer une tension. Pour cela, on observe la hauteur de la figure en la comparant à une échelle appelée graticule sur l'écran du tube cathodique. Les oscilloscopes donnent les valeurs crête-à-crête des tensions alternatives, alors que la plupart des voltmètres, bien que leur réponse soit proportionnelle aux valeurs moyennes ou aux valeurs de pointe, sont gradués en volts efficaces. En outre, ils sont étalonnés sur la base d'une tension sinusoïdale. Il peut en résulter une erreur importante quand on utilise un voltmètre, si la tension mesurée n'est pas sinusoïdale. En conséquence, quand on mesure des tensions non sinusoïdales du type de celle de la **figure 13**, il vaut mieux utiliser un oscilloscope à la place d'un voltmètre, à moins de disposer d'un voltmètre spécialement conçu pour mesurer des tensions non sinusoïdales.

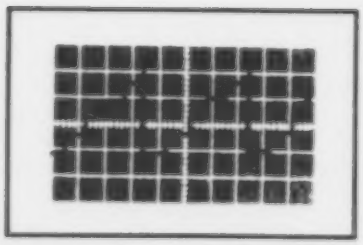


Fig. 13. Des formes d'onde complexes du genre signal vidéo ou train d'impulsions du type créneau ne donneraient pas une indication exacte sur un voltmètre ordinaire. Il faut alors utiliser un oscilloscope.

Au début de ce cours, nous avons un peu parlé de la mesure des tensions à l'aide d'un oscilloscope. Il existe de nombreuses méthodes permettant de connaître la tension observée sur l'écran. Certains oscilloscopes possèdent une tension d'étalonnage incorporée; d'autres possèdent une commande de gain ou d'atténuateur étalonnée en volt/centimètre ou volt/division. Enfin, d'autres oscilloscopes n'ont aucun étalonnage interne, mais utilisent un étalonnage externe.

24 Tension d'étalonnage interne

Une tension d'étalonnage interne est habituellement une onde carrée ou une impulsion rectangulaire. Certains oscilloscopes ne font par contre que prélever un échantillon fixe d'une tension sinusoïdale du réseau. Si la tension d'étalonnage est fixe, par exemple 1 V, on peut régler le gain de façon que ce 1 V couvre le nombre voulu de divisions verticales.

Supposons que le signal d'étalonnage de 1 V soit réglé de façon à couvrir cinq divisions. Chaque division est donc égale à un cinquième, c'est-à-dire 0,2 V, pour la position X1 de la commande d'atténuation verticale; 2 V sur la position X10; et 20 V sur la position X100. Si donc l'atténuateur est sur la position X10, et si la tension mesurée couvre 4 graduations verticales et demie, elle vaut $2 \times 4{,}5 = 9$ V.

Si le signal mesuré sort de l'écran, aux parties supérieure et inférieure, on peut régler la commande d'atténuation à la position immédiatement supérieure, par exemple de X10 à X100. Ou bien encore, si le signal est trop faible, on peut mettre la commande d'atténuation à la position immédiatement inférieure, par exemple de X10 à X1.

Il est important de ne plus changer la commande de gain après son réglage; sinon, il faut réétalonner.

Les mesures précédentes donnent des valeurs crête-à-crête. Si la mesure porte sur une tension sinusoïdale dont on veut connaître la valeur maximale, il suffit de prendre la moitié de la tension crête-à-crête. Si l'on veut avoir la tension efficace d'une onde sinusoïdale, multiplier la tension crête-à-crête par 0,35. Par exemple, si la tension crête-à-crête d'une onde sinusoïdale est de 12 V, la tension efficace est de $12 \times 0{,}35 = 4{,}2$ V.

25 Commande de l'atténuateur étalonné

Sur certains oscilloscopes, l'atténuateur est appelé commande VOLTS/CM ou VOLTS/DIV. Il est gradué en volt par centimètre ou par division (dans la plupart des cas, chaque division principale vaut 1 cm). Dans ce cas, il suffit de multiplier la valeur lue sur le sélecteur V/div par le nombre de divisions que le signal occupe sur l'écran. Par exemple, si le signal occupe six divisions verticales pour la position 5 V par division, la mesure porte sur un signal de 30 V.

26 Étalonnages extérieurs

Pour utiliser un étalonnage extérieur, quand on veut mesurer un signal d'oscilloscope, brancher d'abord le signal à mesurer aux bornes d'entrée verticale de l'oscilloscope. Puis régler les commandes d'entrée de l'oscilloscope de façon que le signal occupe un nombre commode de divisions verticales, par exemple six. Débrancher ensuite le signal d'entrée de l'oscilloscope, et brancher le générateur étalonné de tension à l'entrée verticale de l'oscilloscope. Régler la sortie du générateur étalonné de tension de façon que le signal d'étalonnage occupe le même nombre de divisions que le signal mesuré. Lire enfin la tension sur la commande de tension du générateur d'étalonnage, en faisant appel au coefficient multiplicateur.

27 Mesure d'un signal à l'aide d'une composante en courant continu

Pour mesurer une tension contenant une composante continue, c'est-à-dire un signal comprenant une tension continue et une tension alternative, il faut régler l'oscilloscope pour un couplage en courant continu de l'amplificateur vertical. Avec un couplage en courant continu, la commande de déplacement vertical étant réglée de façon que la ligne de base horizontale soit centrée au milieu de l'écran (en l'absence de signal), une forme d'onde composite (c'est-à-dire possédant une composante alternative et une composante continue) se décale vers le haut ou vers le bas, par rapport à une composante alternative seule, laquelle serait centrée verticalement. La **figure 14** en montre un exemple. Supposons que chaque division de l'écran soit de 1 cm, et que l'étalonnage de l'oscilloscope corresponde à 2 V/cm. En (*a*), la ligne de base est centrée verticalement. En (*b*), la ligne de base est montée d'une division quand on a branché 2 V continus à l'entrée verticale. En (*c*), on voit un signal sinusoïdal de 8 V alternatif (sans composante continue), centré verticalement sur l'écran.

La forme d'onde de la figure 4(*d*) montre le signal 8 V alternatif, en combinaison avec le signal 2 V continu positif. Noter que le signal alternatif a été décalé vers le haut d'une division, ce qui montre qu'il possède une composante continue de 2 V. Sa tension crête-à-crête est maintenant de 10 V (8 V alternatifs + 2 V continus). L'image obtenue en (*e*) montre enfin que l'onde sinusoïdale 8 V alternatifs se déplace vers le bas d'une division si elle possède une composante 2 V continu négative.

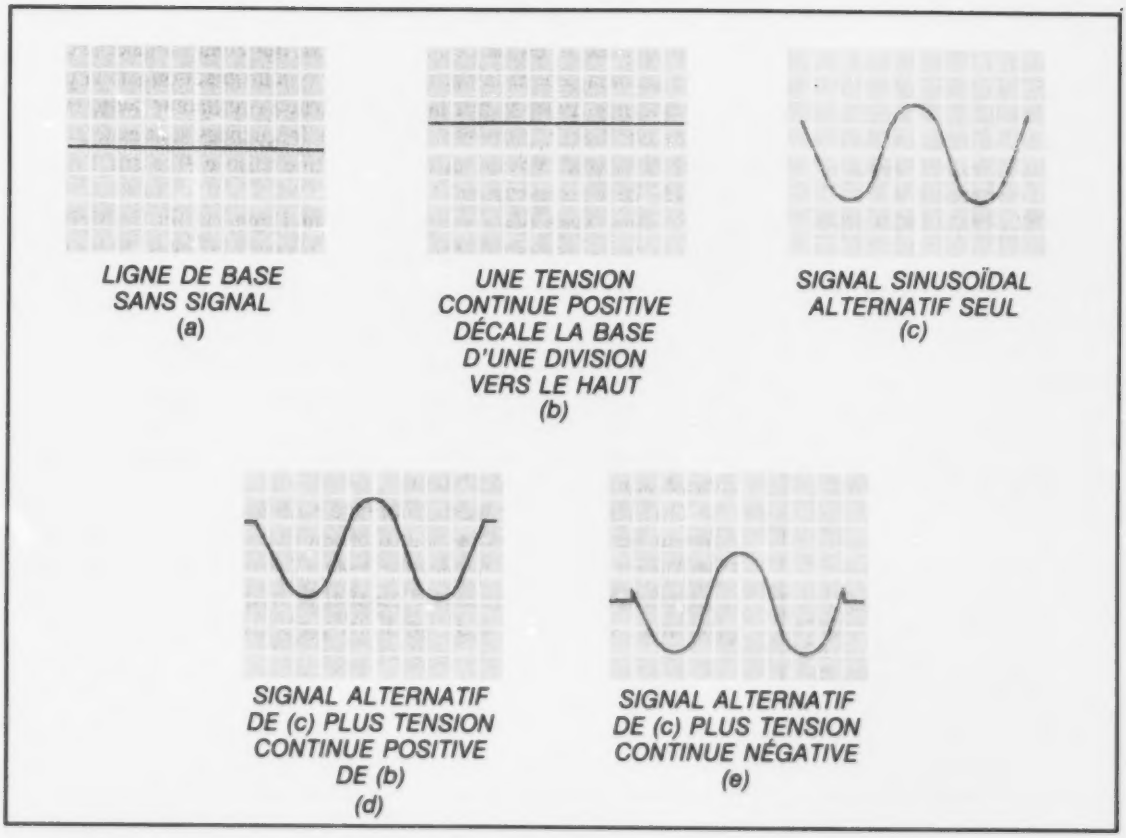


Fig. 14. Une tension composite présente une ligne de base décalée. Le décalage se fait vers le haut si la composante continue est positive, et vers le bas si elle est négative.

Si l'on mesure un signal composite tel que celui représenté ci-dessus quand l'entrée verticale est réglée pour un couplage en courant alternatif, on obtient uniquement la composante alternative de la tension. Dans de nombreux problèmes de dépannage, c'est justement la composante alternative dont nous avons besoin. Mais s'il s'agit d'évaluer la composante alternative et la composante continue, il faut régler le canal d'entrée verticale en couplage direct.

28 Mesure de la fréquence

Comme nous l'avons déjà mentionné plus haut, on peut utiliser un oscilloscope pour comparer deux fréquences. Dans ce cas, le rapport entre les fréquences crée une trace caractéristique sur l'écran. Les figures obtenues s'appellent les figures de Lissajous. Si l'on veut utiliser un oscilloscope pour mesurer la fréquence de signaux A.F., on a besoin d'un oscillateur audio à fréquence variable. Brancher le signal A.F. étudié (fréquence inconnue) à l'entrée de l'ampli-

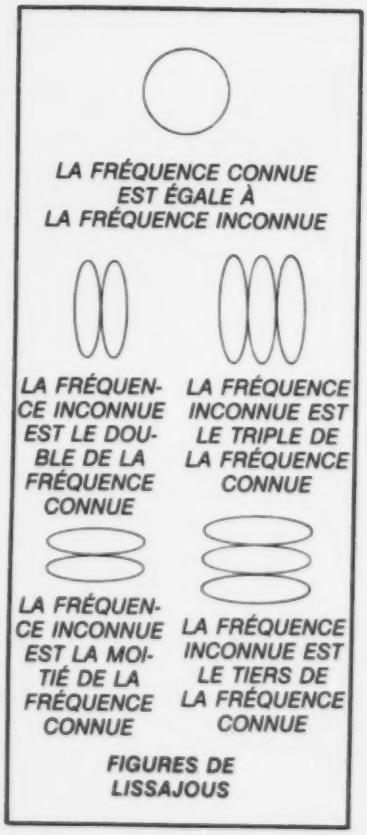


Fig. 15. On peut utiliser les figures de Lissajous pour comparer les fréquences de deux sources de signaux, par exemple une fréquence étalon et un oscillateur à fréquence réglable.

ficateur vertical de l'oscilloscope. Brancher le signal de l'oscillateur audiofréquence à l'entrée de l'amplificateur horizontal. Placer la commande de balayage et la commande de synchronisation sur la position «externe». Faire varier la fréquence de l'oscillateur audio (vous obtenez une figure tournante). Quand les fréquences sont exactement les mêmes, vous voyez un cercle ou une ellipse fixe sur l'écran (**fig. 15,** partie supérieure).

Si vous avez deux fréquences dont l'une est un multiple de l'autre, vous voyez sur l'écran plusieurs boucles fermées. Si les boucles se touchent sur une ligne horizontale, la fréquence d'essai inconnue est supérieure à la fréquence connue de l'oscillateur (fig. 15, au milieu). Si les figures se touchent sur des droites verticales, comme on le voit en bas de la figure, la fréquence d'essai est inférieure à la fréquence connue de l'oscillateur. Le nombre de boucles indique le coefficient multiplicateur. Si l'on a par exemple trois boucles réunies horizontalement, la fréquence d'essai inconnue est le triple de la fréquence connue de l'oscillateur.

On peut utiliser le même montage pour les radiofréquences, du moment que l'oscilloscope peut reproduire ces fréquences élevées. Une fois de plus, on utilise les figures de Lissajous pour déterminer le rapport entre la fréquence d'essai et la fréquence fournie par un générateur de signaux R.F. (radiofréquence).

29 Mesure des phases

Dans de nombreux circuits électroniques, les déphasages sont importants: oscillateur, circuits de synchronisation et d'amplification, pour n'en citer que trois. **On peut utiliser un oscilloscope pour contrôler les phases et déphasages, tant que le déphasage entre l'amplificateur horizontal et l'amplificateur vertical est nul.**

Pour contrôler le déphasage interne d'un oscilloscope, couper le balayage interne et mettre la commande de synchronisation sur «externe». Brancher un oscillateur A.F. (audiofréquence) variable aux bornes d'entrée de l'amplificateur vertical; brancher les bornes d'entrée horizontale en parallèle sur les bornes d'entrée de l'amplificateur vertical. Brancher l'oscillateur A.F. S'il n'y a pas de dépha-

sage, on voit une diagonale à 45° montant de gauche à droite (**fig. 16,** partie supérieure). Si l'on a une double ligne, on sait qu'il y a un certain déphasage. Si le déphasage n'est pas trop important, on a une ellipse. Accorder (ajuster) l'oscillateur sur toute sa gamme pour vérifier le déphasage de l'oscilloscope pour toutes les audiofréquences.

Pour déterminer le déphasage entre deux signaux de même fréquence, couper le balayage interne et mettre le sélecteur de synchronisation sur «externe». Utiliser les commandes de positionnement pour placer le spot au centre de l'écran. Puis appliquer un signal aux bornes de l'amplificateur horizontal et l'autre signal aux bornes de l'amplificateur vertical. Si les deux signaux sont en phase, on a une droite. Si les signaux sont déphasés, on a une ellipse, large ou étroite, comme le montre la figure 16.

On peut aussi contrôler les déphasages à l'aide d'un oscilloscope à double trace tel que celui de la figure 1. Les deux formes d'onde sont affichées l'une au-dessus de l'autre, et on peut nettement observer le déphasage.

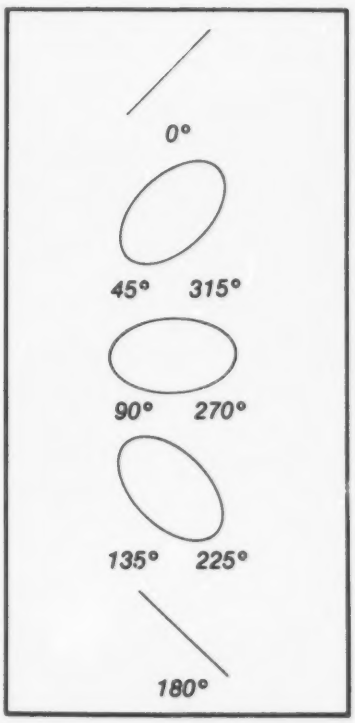


Fig. 16. Exemples de figures de déphasage. Noter que la figure s'incline à droite pour des déphasages compris entre 0 et 90°, et à gauche pour des déphasages compris entre 90 et 180°.

30 Contrôle des ondes carrées

Un générateur d'impulsions ou de signaux carrés peut être utilisé en combinaison avec un oscilloscope pour contrôler et mesurer les performances de différents types d'amplificateurs à large bande. Qu'il s'agisse d'impulsions, d'ondes sinusoïdales ou d'ondes non sinusoïdales, on peut vérifier un amplificateur à large bande avec un générateur d'ondes carrées ou d'impulsions.

On applique à l'entrée de l'amplificateur un signal carré ayant la fréquence voulue. **On peut alors déterminer la performance globale de l'amplificateur en observant ce signal en sortie.** Si le signal s'est détérioré, on a un défaut d'amplificateur. L'oscilloscope peut alors servir à remonter de la sortie à l'entrée pour localiser l'étage défectueux.

La fréquence de l'onde carrée ou des impulsions nécessaires pour contrôler un amplificateur à large bande dépend de la gamme de fréquences que doit transmettre l'amplificateur. Une onde carrée

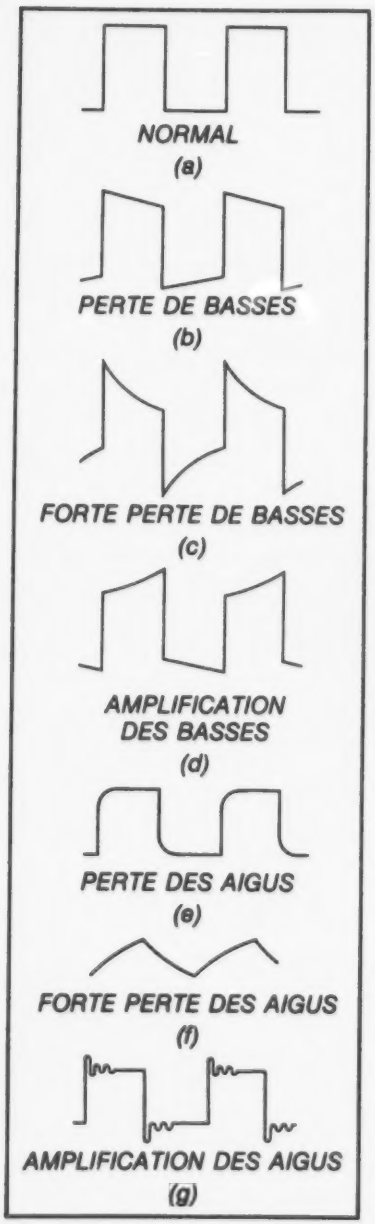


Fig. 17. On utilise les ondes carrées pour contrôler la réponse en fréquence d'un amplificateur. Assurez-vous toutefois que vous connaissez approximativement l'allure du signal de sortie d'un bon amplificateur, avant de décider que le vôtre n'est pas bon.

normale, qui indique que l'amplificateur à large bande n'est pas défectueux, est montrée sur la **figure 17** (*a*).

S'il y a une perte au niveau de la réponse en basse fréquence, l'onde carrée reproduite sur l'écran est inclinée ou distordue, comme on le voit sur les figures 17 (*b*) à (*d*). L'inclinaison est d'autant plus forte qu'est plus faible la réponse en basse fréquence. Dans certains amplificateurs, les «basses» risquent d'être trop amplifiées, auquel cas on observe sur l'écran une inclinaison de l'onde carrée vers le haut, comme en (*d*).

Une mauvaise réponse en haute fréquence est indiquée par des côtés arrondis, ou non verticaux, de l'impulsion (fig. 17 (*e*) et (*f*)). Les bords verticaux de l'impulsion d'essai seront d'autant plus arrondis que la réponse en haute fréquence est moins bonne.

Si l'on a une suramplification des signaux haute fréquence (ou «aigus»), on a une pointe juste après le front et la queue, sur l'écran. Si l'amplificateur tend à osciller à une fréquence donnée, les oscillations apparaissent sur l'écran, comme le montre la figure 17 (*g*). C'est habituellement le signe qu'il y a quelque part dans l'amplificateur une suramplification d'une bande étroite de fréquences particulière. En conséquence, tout signal passant par cette gamme de fréquences est trop amplifié, souvent jusqu'à provoquer une oscillation.

Exercice de contrôle 3

Il est temps de faire une troisième pause pour vérifier vos connaissances sur les mesures de base sur un oscilloscope. Comparez vos réponses aux nôtres et, si nécessaire, révisez les sections citées en référence.

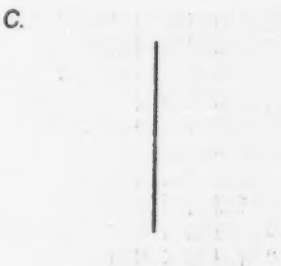
Vos réponses

1. Parmi les schémas suivants, lequel correspond à une tension progressivement croissante appliquée simultanément aux deux paires de plaques de déviation?

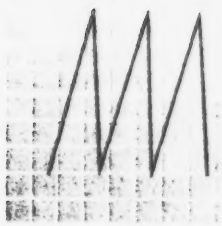
1. _____

A.

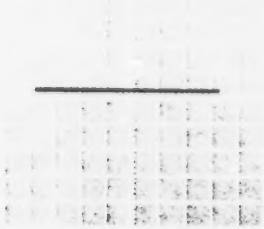
C.



B.



D.



2. Quand on applique des ondes sinusoïdales de fréquence identique tant aux plaques de déviation horizontale qu'aux plaques de déviation verticale (les deux ondes étant exactement en phase), on obtient sur l'écran un (une) _____.

2. _____

3. *(a)* Donner deux méthodes fondamentales permettant d'étalonner le système de déviation verticale d'un oscilloscope.
   (b) Laquelle des deux méthodes permet d'utiliser l'oscilloscope quel que soit le réglage de la commande de gain vertical?

3. (*a*) _____
   _____
   (*b*) _____

4. Vous avez réglé un signal d'étalonnage interne de 1 V pour qu'il couvre quatre divisions. Sur la position X10, la tension mesurée couvre trois divisions verticales. Quelle est la tension?
   A. 7,5 V
   B. 30 V
   C. 40 V
   D. 100 V

4. _____

Vos réponses

5. Vous utilisez un oscilloscope pour mesurer la fréquence. Si la fréquence de l'oscilloscope est de 60 Hz et que la fréquence que vous mesurez est de 30 Hz, on voit sur l'écran deux boucles, qui se touchent (verticalement, horizontalement) _____.

5. _____

Réponses aux questions de l'exercice de contrôle 3

1. A Section 16, fig. 8 (c) 4. A. 7,5 V Section 24
2. diagonale Section 18, fig. 10 (2,5 × 3)
3. (a) méthode de la tension continue, méthode de la tension alternative (b) méthode de la tension alternative Sections 20, 21 5. horizontalement Section 28

Caractéristiques spéciales et accessoires

31 Les différents types de caractéristiques spéciales

Les oscilloscopes sont l'un des outils les plus utiles employés par les dépanneurs professionnels. Il existe de nombreux types d'oscilloscopes qui correspondent à de nombreuses utilisations. La plupart des oscilloscopes travaillent avec une alimentation de 120 V alternatif, mais certaines unités portatives peuvent utiliser une source alternative ou des piles. Ces oscilloscopes portatifs sont habituellement montés dans des coffrets de voyage, particulièrement robustes, qui permettent un transport sûr et aisé d'un chantier à l'autre.

Certains oscilloscopes possèdent des circuits de balayages spéciaux: balayage récurrent, balayage déclenché, balayage retardé. D'autres oscilloscopes possèdent une mémoire, et peuvent mémoriser une image pour observation ultérieure. Ces caractéristiques, de même que certains accessoires, font l'objet de l'étude suivante.

32 Balayage récurrent

Un oscilloscope universel, tel que celui de la figure 7, possède un circuit de balayage correspondant à un balayage récurrent. En d'autres termes, le générateur de balayage produit une tension répétitive en dents de scie. Quand elle est appliquée aux plaques de déviation horizontale, cette tension en dents de scie provoque un balayage dans un sens et dans l'autre sur l'écran, de gauche à droite, à une vitesse déterminée par le réglage de la fréquence du générateur de balayage. Ce dernier peut être réglé sur une large gamme de fréquences, de façon à permettre l'observation de nombreux signaux d'entrée. Par exemple, si l'on applique à la borne d'entrée verticale une fréquence de balayage réglée sur 60 Hz, on verra sur l'écran une sinusoïde unique (cycle alternatif). Si la fréquence de balayage est de 30 Hz, un signal d'entrée à 60 Hz provoquera l'affichage de deux cycles sur l'écran.

33 Balayage unique

Comme son nom l'indique, un balayage unique est un balayage non répétitif. Habituellement, la trace unique est déclenchée chaque fois que l'utilisateur appuie sur le bouton de remise au zéro de la trace. À chaque enfoncement du bouton, on voit un balayage d'écran, ce que l'on appelle quelquefois une «fenêtre temporelle». Cette caractéristique est utile quand on étudie des composantes transitoires des signaux (pics de bruit).

34 Balayage déclenché

Un balayage déclenché ne commence qu'à l'arrivée d'une impulsion de déclenchement. Sur certains oscilloscopes, le balayage peut être déclenché par une impulsion provenant du système de déviation verticale, le signal étudié, ou par une impulsion de déclenchement externe. Ce balayage déclenché est une méthode commode et précise pour afficher et mesurer des formes d'onde, en particulier des impulsions.

La **figure 18** montre quelques-uns des avantages du balayage déclenché. Considérons par exemple une forme d'onde d'entrée (*a*), constituée de trois impulsions de durée 10 µs, espacées de 20 µs, mais n'apparaissant qu'une fois tous les trentièmes de seconde. Il serait très difficile d'examiner ces impulsions sur un oscilloscope dont le générateur de balayage donne une forme d'onde courante, comme en (*b*). Les intervalles entre impulsions constitueraient un pourcentage tellement faible du temps total nécessaire à la trace pour se déplacer sur l'écran que les trois impulsions seraient noyées dans une impulsion très étroite. Cependant, si les impulsions elles-mêmes déclenchent la forme d'onde de balayage de la figure 18 (*c*), la durée affichée peut être très faible. En conséquence, les différentes impulsions du groupe et les faibles intervalles entre elles peuvent être examinés plus nettement, et donc facilement mesurés. Après affichage du premier groupe d'impulsions, le balayage est coupé, et on attend le groupe d'impulsions suivant pour déclencher de nouveau le balayage.

35 Balayage retardé

Un balayage retardé est un type de balayage déclenché, dans lequel le balayage ne commence qu'un certain temps après réception de l'impulsion de déclenchement. Par exemple, le système de

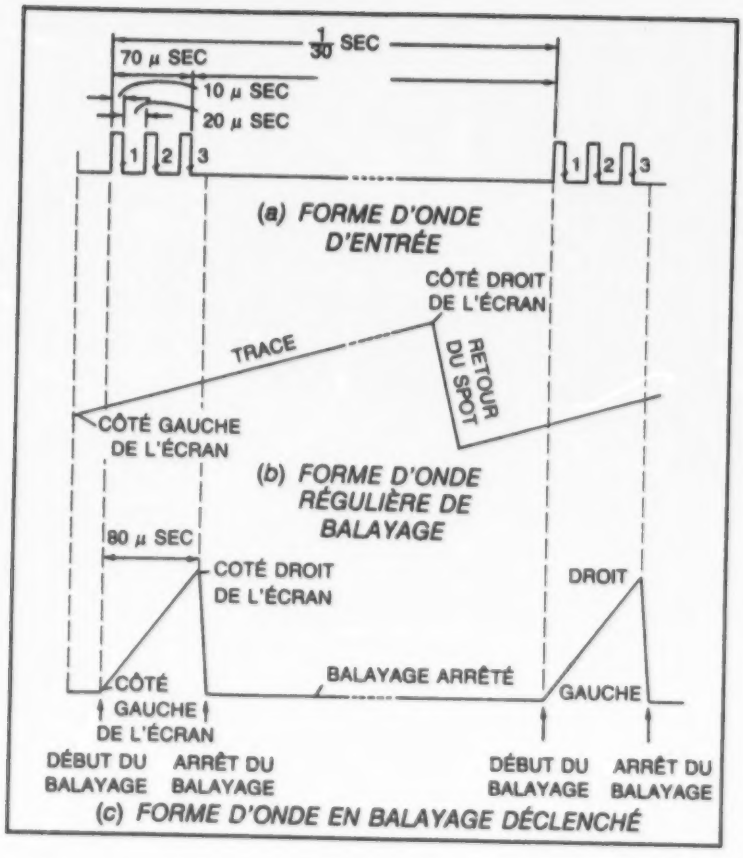
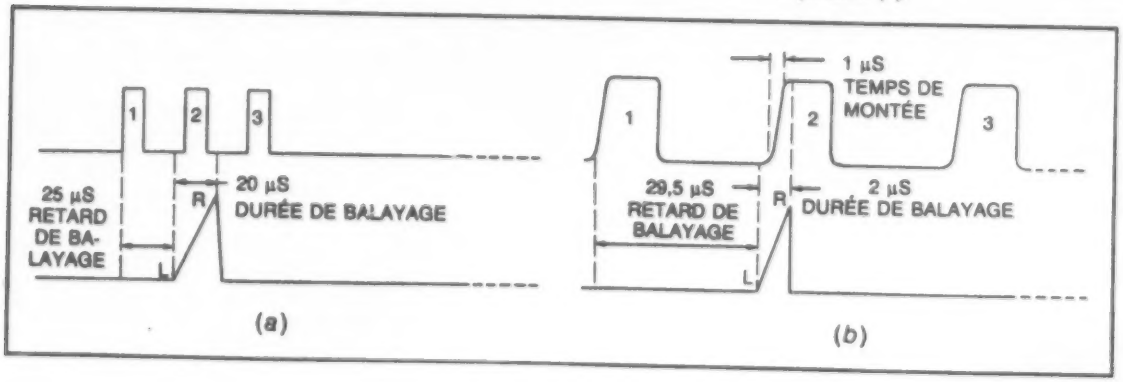


Fig. 18. Le balayage déclenché permet à la trace de la forme d'onde de balayage de ne rester en place que pendant le temps nécessaire à l'observation de l'image.

balayage à retardement déclenché permet à l'utilisateur d'observer non seulement la première impulsion, mais aussi la deuxième ou la troisième. Comme le montre la **figure 19** (*a*), la forme d'onde de balayage démarre 25 μs plus tard que le groupe d'impulsions. Le balayage dure 20 μs, ce qui permet d'afficher complètement la deuxième impulsion. Supposons en outre que nous voulions obser-

Fig. 19. Le balayage retardé permet à l'utilisateur d'observer une partie d'une image, par exemple la deuxième impulsion (*a*), ou encore de se concentrer sur une zone particulière, par exemple le front de la deuxième impulsion (*b*).



ver simplement le front de la deuxième impulsion (qui porte le repère 2) sur la figure 19 (*b*), et supposons que les queues se trouvent 30 µs plus tard.

Enfin, supposons que la montée du front de cette impulsion dure 1 µs. Pour observer le front, nous allons retarder le début du signal de balayage d'environ 29,5 µs (comme en (*b*)), et régler la durée du balayage à une faible valeur, par exemple 2 µs. On aura donc à l'affichage le bord avant (front) de la deuxième impulsion, à peu près sur la moitié de l'espace horizontal disponible sur l'écran.

36 Oscilloscopes à double trace

Un oscilloscope à double trace peut afficher simultanément deux formes d'onde provenant de deux phénomènes distincts. Par exemple, l'oscilloscope à double trace de la figure 1 peut être utilisé pour afficher simultanément la tension d'entrée et de sortie d'un circuit, sur le même écran.

Certains oscilloscopes à double trace (ou à *double faisceau*) possèdent des canons à électrons distincts, qui donnent une image sur le même écran. Cependant, on peut aussi considérer l'oscilloscope à un seul faisceau et l'adapter de façon à afficher deux traces. On utilise pour cela un circuit spécial appelé commutateur électronique. Deux sources de signaux distinctes sont raccordées par l'intermédiaire d'un contacteur unipolaire à deux directions (SPDT), à commande électronique. Quand on fait passer très rapidement le contacteur d'une position à l'autre et inversement, des parties de chaque signal sont alernativement transmises vers l'entrée de l'oscilloscope. Si la fréquence de manoeuvre du contacteur est suffisamment élevée, les segments de chaque signal vont être très proches les uns des autres, et la persistance va avoir pour effet que les deux signaux apparaissent simultanément sur l'écran.

Pour cela, il faut que la fréquence de commutation du commutateur électronique soit beaucoup plus élevée que la fréquence des signaux à reproduire. Si les signaux sont volontairement déséquilibrés l'un par rapport à l'autre, le commutateur choisira toujours des amplitudes élevées dans une position et de faibles amplitudes dans l'autre, de sorte que les deux signaux, à l'affichage, apparaîtront l'un au-dessus de l'autre (au lieu d'être superposés).

Il existe des amplificateurs verticaux enfichables pouvant être utilisés sur de nombreux oscilloscopes possédant un commutateur élec-

tronique incorporé. Dans ce cas, on peut avoir simultanément sur l'écran quatre formes d'onde.

37 Oscilloscope à mémoire

Un oscilloscope à mémoire, tel celui de la **figure 20,** peut conserver une image sur l'écran pour permettre à l'observateur de l'étudier. Par exemple, la mémoire permet au technicien d'observer un événement lent qui n'apparaîtrait que sous la forme d'un point sur un oscilloscope universel. Parmi les applications typiques de l'oscilloscope à mémoire, on peut citer l'observation des formes logiques d'un ordinateur, l'observation des phénomènes transitoires et les vibrations provenant de l'entrée d'un accéléromètre (détecteur) lors des essais de vibration.

Courtoisie de Tektronix, Inc.

Fig. 20. Comme vous pouvez le voir, un oscilloscope peut être très complexe. Les possibilités et le caractère polyvalent de cet appareil le font utiliser en informatique, dans les applications aérospatiales, en balistique, en télécommunication et dans d'autres domaines (observer en particulier l'affichage à double trace).

38 Unités enfichables

On utilise des unités enfichables pour augmenter ou modifier les possibilités d'un oscilloscope, selon les besoins de l'utilisateur. Avec ces unités enfichables, vous pouvez modifier votre oscilloscope pour l'adapter exactement à vos besoins: analyseurs logiques, analyseurs de spectre, amplificateurs verticaux et horizontaux, amplificateurs à double faisceau, bases de temps programmables, etc. Vous pourriez par exemple acheter un oscilloscope «élémentaire», et le moderniser en achetant différents éléments enfichables: amplificateur à double trace, amplificateur différentiel, fréquencemètre-périodemère, base de temps, comme le montre la figure 20.

39 Sondes

Il exise différents types de sondes pour augmenter les possibilités et la précision d'un oscilloscope. On utilise très souvent une sonde à faible capacité, à compensation de fréquence, pour étudier d'une manière plus précise certaines formes d'onde et réduire la charge appliquée par l'oscilloscope sur le circuit étudié. Cette sonde possède trois fonctions: premièrement, maintenir élevée l'impédance d'entrée de l'oscilloscope; deuxièment, présenter une impédance d'entrée fixe et connue qui ne soit pas fonction de la trajectoire du câble d'alimentation de l'oscilloscope par rapport à la masse; et troisièmement, minimiser la réception directe (parasites) pour améliorer l'isolation et le blindage.

Bien que l'amplificateur vertical d'un oscilloscope possède une réponse en fréquence donnée, il n'est utile que si la sortie de l'amplificateur peut également reproduire les composantes haute fréquence d'un signal. Une sonde à compensation de fréquence relie le circuit étudié à l'entrée de l'amplificateur de l'oscilloscope. La sonde minimise la charge appliquée sur le circuit, en évitant de perdre des composantes haute fréquence du signal, du fait des capacités parasites.

La sonde haute fréquence fonctionne comme un diviseur de tension à impédance constante. Elle atténue (réduit) le signal, mais l'atténuation est uniforme sur la bande de fréquences de l'oscilloscope. Cette atténuation est importante, car elle réduit la sensibilité effective de l'oscilloscope. Si l'atténuation du signal consiste par exemple à le diviser par 10, la tension mesurée sur l'écran étalonné doit être multipliée par 10 pour obtenir la valeur vraie.

La sonde haute tension de la **figure 21** permet d'observer et de mesurer des impulsions de grande amplitude ainsi que d'autres formes d'onde. Après avoir convenablement étalonné les tensions, on peut appliquer à l'oscilloscope des formes d'onde dont la tension de crête peut atteindre plusieurs milliers de volts.

Une sonde à démodulation est utile quand l'oscilloscope sert au dépannage point par point d'un circuit R.F. ou vidéo. On l'utilise pour mesurer des formes d'onde dans les étages radiofréquence ou moyenne-fréquence d'un récepteur. Le signal R.F. ou moyenne-fréquence est démodulé, et seule la modulation est envoyée à l'entrée verticale de l'oscilloscope.

Courtoisie de B & K PRECISION Test Instruments, Dynascan Corporation

Fig. 21. L'une des sondes spéciales qui vous permettent de donner à votre oscilloscope de nombreuses possibilités d'utilisation.

40 Appareil photographique

Il existe un autre accessoire important, l'appareil photographique, spécialement conçu pour enregistrer l'image sur l'écran. Les détails de fonctionnement de cet appareil n'entrent pas dans le cadre de ce cours, mais on peut les trouver dans le manuel d'instructions du fabricant. L'appareil photographique de la **figure 22** a été spécialement

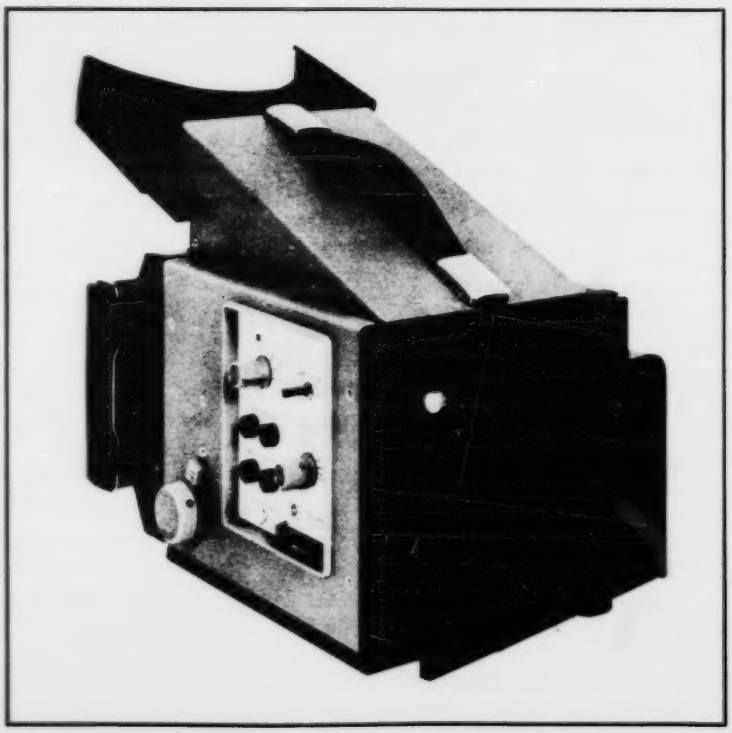


Fig. 22. On peut photographier les formes d'onde sur l'écran d'un tube cathodique à l'aide de cet appareil photographique. Aucune aptitude particulière n'est nécessaire. Il suffit de se familiariser avec l'appareil photographique.

conçu pour photographier l'image des tubes cathodiques. L'appareil est livré avec un adaptateur pour montage sur l'oscilloscope. L'adaptateur est articulé, et l'appareil peut être escamoté.

L'appareil photographique possède une source UV (ultraviolet) incorporée et un filtre UV. La lumière UV excite la substance phosphorescente de l'écran, ce qui provoque la fluorescence. Le filtre arrête la lumière ultraviolette, et le film n'enregistre que l'écran fluorescent.

Exercice de contrôle 4

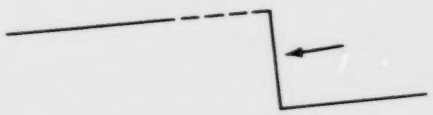
Vous allez maintenant faire une pause pendant quelques minutes et revoir quelques points-clés des caractéristiques spéciales et accessoires des oscilloscopes avant de répondre à l'examen personnel. Comparez vos réponses aux nôtres et révisez, au besoin, les notions qui ne vous sont pas claires.

Vos réponses

1. Donner trois types de balayages sur l'écran d'un oscilloscope. 1. _____

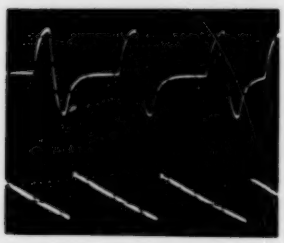
2. Comment appelle-t-on un balayage dans lequel les cycles se suivent sans interruption? 2. _____

3. Comment appelle-t-on la partie de la forme d'onde indiquée par la flèche ci-dessous? 3. _____



4. Vous voulez observer la quatrième impulsion d'une série d'impulsions. Quel type de balayage faut-il choisir? 4. _____

5. Quel type d'oscilloscope permet d'obtenir les diagrammes suivants? 5. _____



Réponses aux questions de l'exercice de contrôle 4

1. (Trois réponses quelconques parmi ces quatre)
   Balayage retardé
   Balayage récurrent
   Balayage simple
   Balayage déclenché
   Section 31
2. Balayage récurrent
   Section 32
3. Retour du spot
   Section 34, fig. 18
4. Balayage retardé
   Section 35
5. Double trace
   (ou double faisceau)
   Section 36, figs. 1, 20

Examen personnel

Lisez attentivement chacune des phrases suivantes, en vous assurant que vous en comprenez bien le sens. Chaque question est suivie de quatre mots ou groupes de mots dont un seul est correct. Faites une croix (X) sur la lettre correspondant à votre réponse.

1. Vous utilisez un oscilloscope pour mesurer les signaux d'un ordinateur. Vous trouverez la sensibilité de l'amplificateur vertical exprimée en valeur: _____.

   A. moyenne.
   B. de pointe.
   C. crête-à-crête.
   D. efficace.

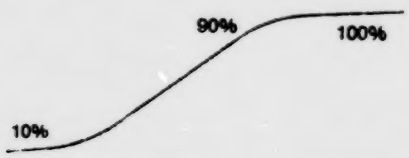
2. Un cycle d'une onde sinusoïdale apparaît sur l'écran d'un oscilloscope sur une distance horizontale de 6,25 cm. La vitesse de balayage et de 2 µs par centimètre. La fréquence de l'onde sinusoïdale est:

   A. 80 kHz.
   B. 160 kHz.
   C. 6,25 MHz.
   D. 12,5 MHz.

3. Lors de l'étalonnage d'un oscilloscope, quelle est la fonction d'un dispositif d'étalonnage en courant alternatif:

   A. superposer une onde sinusoïdale au signal.
   B. remplacer le signal par une onde sinusoïdale.
   C. remplacer le signal par une onde carrée.
   D. superposer une onde carrée au signal.

4. Supposons que l'écran de l'oscilloscope soit marqué en centimètres, et que l'on ait la trace suivante, qui correspond au temps de montée d'une impulsion.



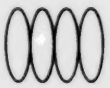
   Si la vitesse de balayage est réglée à 10 µs par centimètre, quel est le temps de montée de l'impulsion, en microsecondes?

   A. 50
   B. 200
   C. 450
   D. 800

5. Vous pouvez utiliser un oscilloscope dans sa position entrée-verticale en courant continu pour mesurer une tension composite. La composante tension continue positive a l'effet suivant:

   A. elle dévie la trace vers le bas à partir de la ligne de base
   B. elle dévie la trace vers le haut à partir de la ligne de base
   C. elle augmente la valeur moyenne de la tension alternative
   D. elle augmente la valeur crête-à-crête de la tension alternative

6. Le signal d'essai suivant indique que la fréquence du signal à mesurer est _____ la fréquence de l'oscillateur en audiofréquence à l'entrée de l'amplificateur horizontal.



   A. la même que
   B. un quart de
   C. quatre fois plus élevée que
   D. huit fois plus élevée que

7. Vous utilisez un oscilloscope pour contrôler le déphasage. Si vous voyez une ellipse horizontale sur l'écran, les signaux étudiés ont un déphasage de:

   A. 45 ou 315°.
   B. 90 ou 270°.
   C. 180 ou 0°.
   D. 225 ou 135°.

8. Vous pouvez utiliser une onde carrée pour évaluer les performances de nombreux amplificateurs à large bande. Pourquoi?

   A. Parce qu'un amplificateur peut amplifier une onde carrée.
   B. Parce que la fréquence d'une onde carrée est constante.
   C. Parce qu'un générateur d'ondes carrées ne charge pas l'amplificateur.
   D. Parce que l'onde de sortie indique les réponses en haute fréquence et en basse fréquence.

9. Vous appliquez une onde carrée à l'entrée d'un amplificateur présentant une mauvaise qualité de réponse en haute fréquence. Qu'allez-vous obtenir sur l'écran?

A.

C.

D.

B.

10. Vous voulez mesurer le front d'une impulsion. Vous allez étaler la trace sur une partie importante de l'écran. Pour cela, vous réglez la commande:

A. de concentration.
B. de balayage horizontal.
C. d'intensité.
D. de gain vertical.

Vous trouverez les réponses à la page 310.

Oscilloscopes

BF0104

(Lexiques)

Français	Anglais
À double trace/ à double faisceau	Dual Trace/Dual Beam
Amplificateur à couplage direct	Direct Coupled Amplifier
Amplificateur vertical	Vertical Amplifier
Anode accélératrice	Accelerating Anode
Anode de concentration	Focusing Anode
Atténuateur	Attenuator
Balayage déclenché	Triggered-Sweep
Balayage récurrent	Recurrent Sweep
Balayage retardé	Delayed Sweep
Canon à électrons	Electron Gun
Cathode	Cathode
Cavalier	Jumper
Circuit suppresseur de faisceau	Beam Blanking Circuit
Claquage	Arc-Over
Clignotement	Flickering
Commande de gain horizontal	Horizontal-Gain Control
Commande de gain vertical	Vertical-Gain Control
Commande variable de balayage	Sweep Variable Control
Commutateur à glissoire	Sliding Switch
Contacteur unipolaire à deux directions	SPDT Switch
Déplacement horizontal (commande de)	Horizontal-Centering Control
Déplacement vertical (commande de)	Vertical-Centering Control
Dispositifs de synchronisation	Synchronizing Facilities
Écran	Screen
Entrée verticale (sélecteur d')	Vertical Input (Switch)
Faisceau	Beam
Fréquence de balayage	Sweep Frequency
Fréquence de répétition	Repetition Rate
Gamme des vitesses de balayage	Sweep Range
Générateur (de) base de temps	Time-Base Generator
Grille	Grid
Luminosité	Brightness
Oscillateur base de temps	Time-Base Oscillator
Plaque de déviation	Deflection Plate
Retour du spot	Retrace
Revêtement	Coating

Anglais	Français
Accelerating Anode	Anode accélératrice
Arc-Over	Claquage
Attenuator	Atténuateur
Beam	Faisceau
Beam Blanking Circuit	Circuit suppresseur de faisceau
Brightness	Luminosité
Cathode	Cathode
Coating	Revêtement
CRT	Tube à rayons cathodiques
Decay Time	Temps de descente
Deflection Plate	Plaque de déviation
Delayed Sweep	Balayage retardé
Demodulator Probe	Sonde à démodulation
Direct Coupled Amplifier	Amplificateur à couplage direct
Dual Trace/Dual Beam	À double trace/ à double faisceau
Electron Gun	Canon à électrons
Flickering	Clignotement
Focusing Anode	Anode de concentration
Grid	Grille
Horizontal Attenuator Switch	Sélecteur d'atténuation horizontale
Horizontal-Centering Control	Déplacement horizontal (commande de)
Horizontal-Gain Control	Commande de gain horizontal
Horizontal-Selector Switch	Sélecteur horizontal
Jumper	Cavalier
Line-Synchronizing	Synchronisation secteur
Lock in (to)	Verrouiller
Recurrent Sweep	Balayage récurrent
Repetition Rate	Fréquence de répétition
Retrace	Retour du spot
Rise Time	Temps de montée
Screen	Écran
Sensitivity	Sensibilité
Sliding Switch	Commutateur à glissoire
SPDT Switch	Contacteur unipolaire à deux directions
Sweep Frequency	Fréquence de balayage
Sweep Range	Gamme des vitesses de balayage
Sweep-Selector Switch	Sélecteur de vitesses de balayage
Sweep Variable Control	Commande variable de balayage
Sync	Synchronisation

Français	Anglais
Section déviation verticale	Vertical Section
Sélecteur d'atténuation horizontale	Horizontal Attenuator Switch
Sélecteur d'atténuation verticale	Vertical Attenuator Switch
Sélecteur de vitesses de balayage	Sweep-Selector Switch
Sélecteur horizontal	Horizontal-Selector Switch
Sélecteur vertical	Vertical Selector Switch
Sensibilité	Sensitivity
Sonde à démodulation	Demodulator Probe
Synchronisation	Sync
Synchronisation secteur	Line-Synchronizing
Temps de descente	Decay Time
Temps de montée	Rise Time
Tension nominale	Voltage Rating
Tube à rayons cathodiques	CRT
Verrouiller	Lock in (to)

Anglais	Français
Synchronizing Facilities	Dispositifs de synchronisation
Time-Base Generator	Générateur (de) base de temps
Time-Base Oscillator	Oscillateur base de temps
Triggered-Sweep	Balayage déclenché
Vertical Amplifier	Amplificateur vertical
Vertical Attenuator Switch	Sélecteur d'atténuation verticale
Vertical-Centering Control	Déplacement vertical (commande de)
Vertical-Gain Control	Commande de gain vertical
Vertical Input (Switch)	Entrée verticale (sélecteur d')
Vertical Section	Section déviation verticale
Vertical Selector Switch	Sélecteur vertical
Voltage Rating	Tension nominale

Appareils de vérification pour composants électroniques

BF0105

Appareils de vérification pour composants électroniques

Objectifs d'enseignement

Tout au long de vos études d'électronique, on vous a beaucoup parlé des fonctions de différents composants et circuits. On vous a expliqué leurs principes de fonctionnement de manière assez détaillée. Cependant, dans la pratique, les composants et les circuits ne fonctionnent pas toujours en conformité avec ces principes théoriques; et c'est alors que les opérations de dépannage entrent en ligne de compte.

Dans le présent module, nous aborderons l'un des aspects importants du dépannage qui concerne les appareils de base utilisés pour vérifier un composant défectueux. Nous expliquerons les principales causes de panne des composants, ainsi que les méthodes et appareils de vérification utilisés pour détecter ces pannes.

Nous décrirons les fonctions de plusieurs types d'appareils de mesure. Néanmoins, il existe des méthodes de mesure relativement simples et des appareils peu coûteux permettant de détecter un grand nombre de pannes. Nous nous concentrerons surtout sur ces méthodes simples. Lorsque vous connaîtrez ces méthodes de base, vous serez en mesure, à l'aide d'un ohmmètre et de quelques autres appareils, de diagnostiquer la plupart des pannes. De plus, vous comprendrez alors plus facilement comment fonctionnent les appareils plus complexes.

À la fin de ce module, vous devriez être en mesure:

- *D'identifier le type d'appareil de mesure utilisé sur des éléments tels que résistances, condensateurs et bobines.*
- *De calculer les rapports de transformation.*
- *D'expliquer le schéma de montage approprié permettant de vérifier diodes, redresseurs commandés au silicium et transistors.*

Table des matière

Vérification des composants passifs

Vérification des composants	211
Vérification: quelques notions élémentaires	212
Étude des causes de mauvais fonctionnement	213
Mesure de résistances	214
Pont de résistances	214
Précautions à prendre lorsqu'on mesure la résistance	216
Principes de capacité	216
Vérification de la capacité à l'aide d'un ohmmètre	217
Appareils de vérification de la capacité	217
Mesure d'inductance	219
Coefficient de surtension	220
Vérification de transformateurs	221
Rapport de transformation	222
Exercice de contrôle 1	224

Vérification des composants actifs

Composants actifs	226
Semi-conducteur	226
Diodes	227
Transistors	229
Vérification des jonctions du transistor	232
Vérification des redresseurs commandés au silicium (SCR)	233
Le triac	235
Appareils de vérification pour semi-conducteurs	236
Appareils pour vérification de tubes à vide	236
Appareils pour vérification en circuit	238
Circuits intégrés (CI)	238
Manuels et fiches techniques relatifs aux transistors et aux circuits intégrés	240
Exercice de contrôle 2	245

Techniques de soudage

Principes de base 247
Étamage et connexion 247
Dissipateurs thermiques 248
Soudage d'un joint 249
Soudage des circuits imprimés 250
Dessoudage 250
Solvants et lubrifiants 251
Exercice de contrôle 3 252

Annexe 253

Examen personnel 254

Lexiques 257

Vérification des composants passifs

1 Vérification des composants

Tout technicien ou électricien travaillant sur des dispositifs électroniques industriels est souvent amené à vérifier les composants de base entrant dans leur fabrication. Ceux-ci incluent deux types de composants: les composants *passifs*, tels que résistances, condensateurs, bobines et transformateurs, et les composants *actifs*, tels que tubes électroniques, diodes, transistors et circuits intégrés (CI). Dans la première partie de ce cours, nous parlerons des vérifications des composants passifs. Celles des composants actifs seront abordées ultérieurement.

Dans la plupart des cas, lorsqu'on effectue la vérification d'un composant donné, on cherche à déterminer si ce composant est à l'origine du mauvais fonctionnement d'un dispositif. Par ailleurs, il est parfois nécessaire de mesurer les valeurs réelles des composants. Par exemple, vous pouvez effectuer une vérification simple, en utilisant un ohmmètre, pour déterminer si tel condensateur est, ou non, défectueux; dans l'affirmative, vous devez le remplacer. Mais si le comportement du circuit vous laisse croire qu'il n'y a pas de court-circuit sur le condensateur, vous en déduirez peut-être que la valeur réelle de la capacité a changé par rapport à sa valeur nominale, c'est-à-dire que sa performance n'est plus ce qu'elle devrait être. Dans ce cas, vous devez utiliser un capacimètre pour déterminer la valeur réelle de la capacité.

Il existe de nombreuses méthodes et techniques de vérification des composants. La méthode à utiliser dépend du composant, des appareils de mesure dont on dispose et des conditions dans lesquelles la vérification doit être effectuée.

Dans les cours précédents, vous avez pu vous familiariser avec la plupart des principes de mesure élémentaires des composants et des appareils individuels. Vous verrez dans ce cours que ce sont les mêmes principes de bon sens qui sont appliqués pour les vérifications et le dépannage des composants.

2 Vérification: quelques notions élémentaires

La question essentielle que vous devez vous poser avant de procéder à la vérification d'un composant est la suivante: «Qu'est-ce que je veux savoir?». Par exemple, la principale raison pour laquelle on vérifie un composant peut être de savoir s'il fonctionne ou non. Dans ce cas, on peut commencer par une mesure simple. On peut très vite savoir, à l'aide d'un ohmmètre, si le condensateur défectueux, mentionné plus haut, fonctionne ou non. Dans l'affirmative, le problème consiste alors à déterminer s'il fonctionne comme il devrait fonctionner. Dans le cas du condensateur, comme on l'a vu, c'est la capacité que l'on mesurerait. Mais les condensateurs présentent souvent une fuite électrique: il arrive parfois qu'ils ne retiennent pas une charge électrique. Lorsqu'un condensateur présente une fuite électrique, le temps qu'on passera à mesurer sa capacité sera perdu inutilement.

Il est donc essentiel de réfléchir un instant pour s'assurer que l'on comprend bien le problème, et planifier la marche à suivre. Prenez le temps de bien ranger votre table de travail et de rassembler tous les instruments dont vous aurez besoin pour effectuer les mesures. Vous verrez qu'il est souvent utile de prendre note des différentes étapes que vous envisagez suivre, car cela vous permettra d'effectuer le travail de manière systématique. (Le fait de mettre les choses par écrit vous aidera également à organiser votre pensée.)

Souvent, d'après le comportement d'un dispositif donné, on peut déduire que le problème se situe au niveau d'un composant particulier. Mais avant de se précipiter pour démonter l'appareil en question, il faut réfléchir un peu et envisager les solutions simples et évidentes qui, dans bien des cas, permettent de résoudre les problèmes. Vérifiez les réglages en vous reportant au manuel de l'opérateur: il se peut que quelqu'un, ignorant le fonctionnement de l'appareil, l'ait déréglé. N'oubliez pas non plus de vérifier les câbles, les commandes et les connecteurs externes: le simple fait de bouger les fils ou de pousser les connecteurs permet parfois de localiser un problème intermittent et de le résoudre sans avoir à «ouvrir» l'appareil. Lorsque vous ouvrez le boîtier, réfléchissez un moment pour étudier la situation; vérifiez, par exemple, si des fils nus se touchent.

Il est utile d'avoir toujours sous la main un bloc-notes et un crayon, pour prendre des notes et tracer des schémas succints pendant que vous travaillez. Et avant de déconnecter les fils d'un composant, il est bon de dessiner le schéma de câblage, pour s'en souvenir par la suite. À cette fin, il est plus facile d'identifier les conducteurs en utilisant un ruban-cache ou des indicateurs.

3 Étude des causes de mauvais fonctionnement

Lorsque vous avez finalement isolé le composant défectueux dans le circuit, vous devez étudier la cause de la panne avant de remonter le circuit. Ce point est particulièrement important si le problème est dû à une erreur de montage. La plupart des composants électroniques soumis à des contraintes excessives tombent en panne; si on les remplace sans avoir déterminé la cause de la panne, les nouveaux composants tomberont eux aussi en panne. Si vous remplacez une résistance entourée d'une bague noire et carbonisée, mesurez la tension à ses bornes; il se peut qu'un autre composant du circuit soit défectueux, ce qui provoque le défaut de résistance.

Enfin, lorsque vous avez remplacé les composants défectueux (et que vous considérez que tous les problèmes sont réglés), branchez le circuit et observez tout signe manifeste de mauvais fonctionnement. N'oubliez pas de mettre des lunettes de sécurité et de vous tenir à distance: certains composants électroniques «éclatent» lorsqu'ils tombent en panne. Si des signes évidents de mauvais fonctionnement apparaissent, comme de la fumée, ou si vous sentez une odeur de brûlé, débranchez immédiatement le circuit. Si vous constatez un échauffement, débranchez le circuit sans tarder.

Si aucun problème ne survient dans l'immédiat, laissez fonctionner l'appareil pendant quelque temps. Vérifiez ensuite s'il marche correctement.

Si les vérifications effectuées sur les composants donnent des résultats imprévus, vérifiez les sources d'erreurs suivantes, qui sont fréquentes lorsqu'on se sert d'un appareil de mesure:

1. Avez-vous oublié de multiplier les valeurs lues par les facteurs appropriés?
2. Avez-vous oublié de vérifier le zéro, ou d'étalonner correctement l'appareil de mesure avant de commencer la vérification?
3. Avez-vous trop chargé le circuit lors de la vérification?
4. Avez-vous essayé d'effectuer les mesures au-delà des limites de l'appareil de mesure?

Si vous prenez le temps de réfléchir au problème et de mettre au point une méthode de vérification systématique, les choses seront considérablement simplifiées et, à long terme, vous gagnerez du temps.

4 Mesure de résistances

Il existe plusieurs méthodes de mesure des résistances. L'une de ces méthodes consiste à utiliser un voltmètre pour mesurer la chute de tension dans la résistance et un ampèremètre pour y mesurer le courant. Puis, en appliquant la loi d'Ohm ($R = E/I$), vous pouvez calculer l'inconnue, à savoir la résistance.

La deuxième méthode consiste à utiliser un ampèremètre et une résistance de valeur connue. On monte la résistance de valeur connue R_K, dans un circuit série simple et on mesure ensuite le courant I_K avec l'ampèremètre. On remplace ensuite la résistance R_K par la résistance à mesurer R_X. On mesure le courant I_X dans la résistance à mesurer. Puisque le rapport du courant est inversement proportionnel au rapport des deux résistances, R_X peut être calculée comme suit:

$$\frac{R_X}{R_K} = \frac{I_K}{I_X}$$

ou

$$R_X = \frac{I_K}{I_X} R_X$$

où R_X = valeur, en ohms, de la résistance à mesurer
R_K = valeur, en ohms, de la résistance de valeur connue
I_X = courant, en ampères, dans R_X
I_K = courant, en ampères, dans R_K.

Comme vous pouvez le constater, ces deux méthodes sont des méthodes de laboratoire et non des méthodes «rapides et simples» dont un technicien a souvent besoin dans l'industrie. L'appareil dont il se sert le plus souvent est l'ohmmètre, ou le multimètre avec ohmmètre incorporé, comme le montre la **figure 1.**

Courtoisie de Simpson Electric Company

Fig. 1. Le multimètre est sans doute l'outil le plus précieux pour un technicien de l'électronique. La partie avant de l'appareil possède des échelles de courant, de tension et de résistance distinctes. Vous remarquerez que l'échelle supérieure, celle qui correspond à l'ohmmètre, est non linéaire, comme l'indiquent les espacements variables entre les repères.

5 Pont de résistances

Dans certains cas, on peut avoir besoin d'une mesure de résistance très précise. Il faut alors utiliser un pont de résistances. Comme nous l'avons vu dans les cours précédents, le *pont de résistances* est un

instrument comparatif qui associe la valeur inconnue d'un composant à la valeur connue d'un autre composant.

La **figure 2** représente un montage élémentaire de résistances en pont. (Le montage en pont est reconnaissable par sa forme en losange caractéristique.) Comme vous vous en souvenez, on peut mesurer une résistance inconnue raccordée au pont en équilibrant celui-ci. Lorsque le pont est équilibré, il n'y a pas de différence de potentiel entre les points *C* et *D* (fig. 2) et, par conséquent, aucun courant ne passe dans l'appareil de mesure (galvanomètre).

Dans le cas d'un pont de résistances classique, la résistance inconnue R_X est raccordée aux bornes de l'appareil de mesure. R_1, R_2 et R_3 sont des résistances variables de précision, réglées pour équilibrer le pont. Il suffit ensuite de lire les valeurs de R_1, R_2 et R_3 sur les cadrans de l'instrument et de calculer la valeur de R_X.

Le pont de la **figure 3** est un *pont équilibré*, bien que R_1 *ne soit pas égale* à R_2 et que R_3 ne soit pas égale à R_X. Cependant le rapport R_1, sur R_3 est égal au rapport R_2 sur R_X. L'équation de base qui s'applique à un pont équilibré est la suivante:

$$R_X = \frac{R_2 \times R_3}{R_1}$$

Cette relation mathématique nous permet d'élargir la gamme du pont en faisant varier les valeurs des résistances connues. Par exemple, si R_2 est dix fois supérieure à R_1, alors la résistance inconnue R_X doit être dix fois supérieure à la résistance de R_3 pour que le pont soit équilibré.

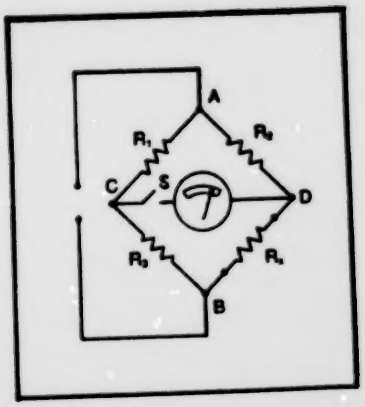


Fig. 2. S'il n'y a pas de déviation de l'aiguille de l'appareil lorsque l'interrupteur est fermé, le pont est équilibré, ce qui veut dire que la différence de potentiel entre les points *C* et *D* est nulle.

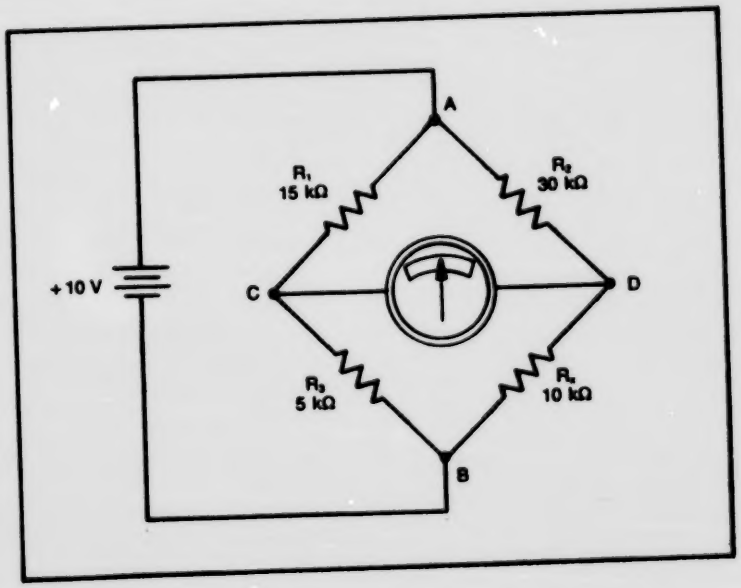


Fig. 3. Un pont peut être équilibré, même si les différentes valeurs de résistance ne sont pas égales, à condition que les rapports soient égaux. Ici, par exemple, le rapport de R_1 sur R_3 est égal au rapport de R_2 sur R_X.

Il existe plusieurs types de montages de résistances en pont sur le marché. Certains d'entre eux associent deux ou plusieurs types de ponts, grâce à certaines dispositions des commutateurs.

Lorsqu'on effectue des mesures de résistance, il faut lire préalablement les spécifications du fabricant pour s'assurer que l'appareil est conçu pour le type de mesures envisagées. Bien sûr, il faut toujours suivre les instructions du fabricant, quel que soit le type de mesure que vous réalisez.

6 Précautions à prendre lorsqu'on mesure la résistance

Avant d'utiliser un ohmmètre, le circuit ou le composant à vérifier doit être complètement mis hors tension. L'ohmmètre possède une source d'alimentation propre: en général une ou plusieurs batteries internes.

Les valeurs de la plupart des résistances sont généralement indiquées soit par un marquage, soit par un code de couleurs. Lorsque le code de couleurs est utilisé, les résistances sont marquées avec des bandes de différentes couleurs (on trouvera dans *l'Annexe* les codes de couleurs les plus courants). Ce code inclut la tolérance nominale de la résistance (n'oubliez pas de tenir compte de la tolérance lorque vous comparez la valeur affichée par l'appareil à la valeur nominale de la résistance). Vous devez savoir qu'une résistance défectueuse doit toujours être remplacée par une résistance de même valeur, de même puissance et de même tolérance. Si vous remplacez une résistance ayant une certaine tolérance (disons ± 20 %) par une résistance de moindre tolérance (± 10 % par exemple), vous n'améliorerez pas la performance du circuit.

7 Principes de capacité

La capacité électrique est l'aptitude d'un composant électrique à accumuler et à emmagasiner une charge électrique. On peut avoir de faibles valeurs de capacité, que l'on appelle *capacité parasite* entre les enroulements d'un inducteur, ou entre les électrodes d'un tube ou d'un transistor, ou encore entre des composants très rapprochés l'un de l'autre, comme les fils d'un circuit.

Un condensateur est formé toutes les fois que deux surfaces conductrices sont séparées par un isolant (appelé *diélectrique*). S'il existe une différence de potentiel entre les deux surfaces (ou plaques), il se forme un champ électrique qui représente l'énergie stockée dans

le diélectrique. Lorsque des électrons quittent l'une des plaques du condensateur et qu'ils sont stockés par l'autre plaque, une tension se crée aux bornes du condensateur. La plaque ayant perdu les électrons est chargée positivement et celle qui a récupéré les électrons est chargée négativement. Comme vous pouvez le comprendre, ce processus entraîne une contrainte sur le diélectrique. La limite de pression que le diélectrique peut supporter est appelée *tension limite*, ou *tension de claquage* du condensateur.

La quantité d'électrons qui peut être déplacée détermine la valeur de la *capacité* du condensateur. Cette valeur dépend de la taille des plaques, de la distance entre celles-ci et du type de diélectrique utilisé. La capacité se mesure en farads. Puisque le farad est une unité très grande, l'unité courante de capacité est exprimée en fractions de farad: le *microfarad* (soit un millionième de farad, ou µF) et le *picofarad* (soit un millionième de microfarad, ou pF).

8 Vérification de la capacité à l'aide d'un ohmmètre

Une vérification simple peut être effectuée sur les condensateurs à l'aide d'un ohmmètre. Il faut d'abord laisser le condensateur se décharger et régler ensuite l'ohmmètre sur une échelle de haute résistance. Lorsque les fils de l'appareil de mesure sont raccordés aux bornes du condensateur, on doit constater une déviation initiale de l'aiguille de l'appareil. Ce phénomène est dû au fait que le condensateur est chargé par la batterie de l'ohmmètre. Lorsque le condensateur est chargé, la position de l'aiguille indique la résistance du condensateur (si aucune déviation ne se produit, c'est vraisemblablement parce que le condensateur a un fil coupé).

En règle générale, la résistance des condensateurs électrolytiques est d'environ de 0,5 MΩ (mégohms) ou plus. Comme la résistance d'un bon condensateur au papier doit être supérieure à 50 MΩ par µF et que celle d'un condensateur au mica doit être supérieure à 100 MΩ par µF, il se peut que les valeurs mesurées soient trop élevées pour être enregistrées sur l'échelle de l'ohmmètre.

9 Appareils de vérification de la capacité

Si l'on veut effectuer une mesure plus approfondie sur un condensateur, il faut utiliser un pont de capacités, dont le circuit de base est représenté à la **figure 4**. Cet appareil permet de vérifier plusieurs caractéristiques d'un condensateur, en dehors de la capacité.

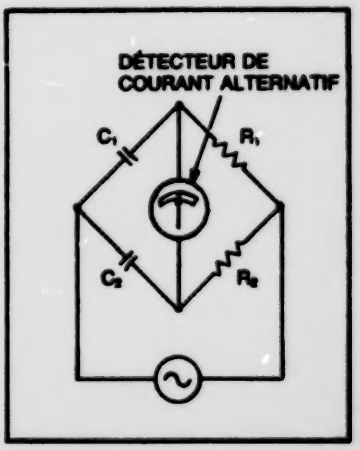


Fig. 4. Le pont de capacités est équilibré lorsque le rapport de R_1 sur R_2 est égal au rapport de C_1 sur C_2.

Néanmoins, avant de mesurer la capacité, il faut effectuer une mesure de résistance de fuite. Les fuites sont un défaut courant sur les condensateurs et il est inutile d'essayer de mesurer la capacité d'un condensateur qui fuit. Si un condensateur ayant un diélectrique en papier, en mica ou en céramique présente une faible résistance de fuite, il faut éviter de l'employer, car il est sûrement défectueux. Cependant, avec les condensateurs électrolytiques, un certain niveau de fuite est normal et ne constitue pas de problème.

Un condensateur ne doit *pas* transmettre de tensions continues. Si l'appareil à pont de capacités n'est pas muni d'un indicateur de fuite spécial en tout ou rien, on peut se servir d'un pont de Wheatstone et d'une source d'alimentation en courant continu. Dans la mesure où les condensateurs fonctionnent à des tensions très différentes, on peut souvent choisir la tension pour la vérification de la résistance de fuite. **Cependant, il est préférable d'utiliser la tension nominale de service pour la vérification du courant de fuite, car la fuite n'est pas toujours détectable lorsqu'on utilise une tension plus faible.**

Lorsqu'on a vérifié la résistance de fuite du condensateur, on peut mesurer les valeurs de capacité. En règle générale, on utilise à cette fin des appareils à pont. Un pont de capacités est alimenté en courant alternatif, parce que l'*indication* (ou l'*affichage*) du *zéro* dépend des valeurs de la réactance capacitive. Le pont montré sur la figure 4 est un pont de capacités simple.

Pour des raisons pratiques, on peut considérer que les petits condensateurs au mica et au papier ainsi que le condensateur céramique sont des condensateurs «purs». Le pont est équilibré lorsque le rapport des capacités est égal à l'*inverse* du rapport des résistances, c'est-à-dire lorsque le rapport R_1 sur R_2 est égal au rapport de C_1 sur C_2. Ce type de pont ne peut être utilisé que si le condensateur à l'essai ne présente pas de fuite et que le facteur de puissance est proche de zéro. Cela s'explique par le fait que le pont n'a aucun moyen d'équilibrer une résistance en série ou une résistance de shunt associée au condensateur.

Les condensateurs électrolytiques ont souvent des résistances montées en série avec les capacités. Un pont de capacités utilisé pour la mesure d'un condensateur électrolytique doit pouvoir tenir compte de ces résistances en série. Lorsque la capacité à mesurer a une valeur très faible, on peut utiliser une méthode de substitution. Cette méthode a l'avantage de minimiser les erreurs dues à la capacité parasite; de plus, elle déplace la lecture de la partie basse vers la partie haute de l'échelle, où un résultat plus précis peut être obtenu.

Pour pouvoir utiliser cette méthode, il faut que les résistances des deux bras de proportion du pont soient égales. Vous devez raccorder un petit condensateur de valeur connue sur les bornes de valeur inconnue. (Le condensateur de valeur connue doit avoir la même gamme de valeurs nominales que le condensateur de valeur inconnue à mesurer.) Le condensateur connu étant branché, équilibrez le pont et relevez la capacité affichée. Raccordez ensuite le condensateur inconnu en parallèle sur le condensateur connu, et équilibrez

de nouveau le pont. La différence entre les deux résultats affichés correspond à la valeur du condensateur de valeur inconnue.

La **figure 5** montre un appareil de mesure de capacité industriel. Cet appareil est muni d'un indicateur numérique qui permet une lecture directe de la valeur de la capacité du condensateur. Lorsque le condensateur est ouvert, le résultat obtenu se situe dans la gamme basse, autour de 1000 pF; en cas de court-circuit, l'affichage sera «hors gamme» dans toutes les positions.

Le condensateur sur lequel l'essai est effectué doit d'abord être déchargé. Il faut ensuite insérer les fils dans les pinces d'essai (les fentes horizontales situées au-dessus des marques + et −) si le condensateur n'est pas raccordé à un circuit. On peut utiliser des fils prolongateurs pour les condensateurs qui sont raccordés à un circuit.

Comme pour les appareils de mesure de résistance, il existe une vaste gamme d'appareils de mesure de capacité. Et comme pour les premiers (ou tout autre appareil), la meilleure source d'information sur le fonctionnement de l'appareil est le manuel d'instructions fourni par le fabricant.

Courtoisie de Dynascan Corporation

Fig. 5. Le porte-fusible (1 A sur cet appareil de mesure de capacité) assure la protection de l'appareil lorsque le condensateur à mesurer n'est pas complètement déchargé. Néanmoins, il faut toujours décharger le condensateur avant de le raccorder à un appareil de mesure.

10 Mesure d'inductance

Les bobines sont des enroulements de fils conçus pour utiliser le champ magnétique qui entoure un fil lorsqu'un courant électrique le traverse. Les bobines qui servent à limiter ou à réguler les courants alternatifs sont parfois appelées *bobines d'arrêt*. Les *transformateurs* sont des bobines constituées d'au moins deux enroulements. On utilise un transformateur pour transférer de l'énergie électrique d'une bobine à l'autre au moyen du champ magnétique qui entoure la bobine. **L'inductance est la propriété d'un conducteur de s'opposer à tout changement du courant électrique qui le traverse.** Tous les circuits ont une certaine inductance et résistent à tout change-

ment d'intensité des courants qui les traversent. Comme le montre la **figure 6**, l'inductance retarde tout changement d'intensité du courant, c'est-à-dire qu'elle force le changement en question à se produire plus tard qu'il ne se produirait si le circuit n'avait pas d'inductance.

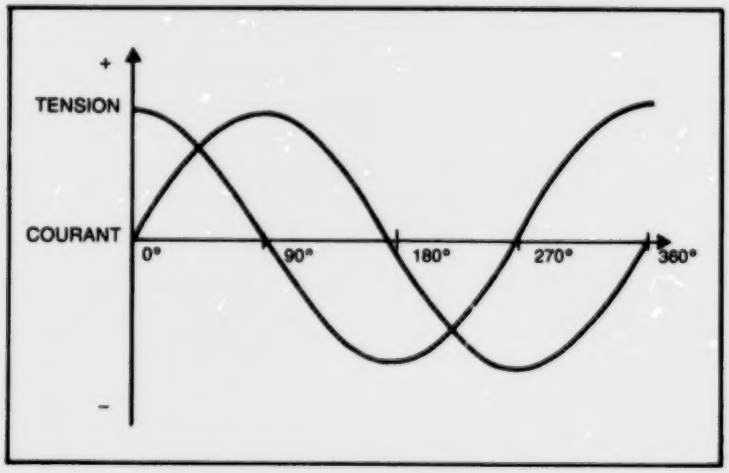


Fig. 6. L'inductance provoque un déphasage entre le courant et la tension, si bien que le courant est en retard sur (ou suit) la tension. Ici, le courant a un retard de 90° sur la tension; lorsque le courant atteint sa valeur maximale, la tension est égale à zéro.

L'opposition au courant créée par le champ magnétique dans une bobine correspond à la valeur de l'inductance et se mesure en *henrys* (abréviation : H). Le symbole de l'inductance est la lettre *L*. En dehors de l'inductance, le fil de la bobine offre également une résistance au flux de courant. Cette résistance, combinée à la réactance inductive, est appelée *impédance*. L'impédance est désignée par la lettre *Z* et se mesure en ohms (Ω).

L'inductance, comme la capacité, se mesure à l'aide d'un appareil de mesure à pont alimenté en courant alternatif. Une fois encore, dans la mesure où il existe de nombreux types d'appareils sur le marché, il est préférable de consulter les instructions spécifiques du fabricant avant d'utiliser un appareil donné.

11 Coefficient de surtension

Le *Q*-mètre est un appareil servant à déterminer l'impédance d'un circuit ou d'un composant. Il peut également être utilisé pour déterminer l'inductance, la capacité et la résistance.

Le coefficient de surtension d'une bobine est une mesure de performance de son bon fonctionnement. Si une bobine a un facteur de surtension élevé, les pertes dans la bobine sont faibles. *Q* est le rapport entre la réactance inductive de la bobine et la résistance de la

bobine à une fréquence particulière. Puisqu'il s'agit du rapport de deux valeurs exprimées en ohms, le coefficient de surtension n'a pas d'unité de mesure propre.

On peut également déterminer le coefficient de surtension d'un condensateur; ce facteur indique dans quelle mesure le condensateur se rapproche de la condition idéale d'une perte nulle. Dans le cas d'un condensateur, Q est le rapport de la réactance capacitive sur la résistance en série. Cependant, en règle générale, on mesure la performance d'un condensateur par son pourcentage de dissipation plutôt que par le coefficient de surtension. Le pourcentage de perte (ou de dissipation) d'un condensateur est l'inverse de son coefficient de surtension; on l'obtient en divisant 1 par Q.

La **figure 7** montre un appareil moderne capable de mesurer différentes caractéristiques électroniques. Il permet de contrôler la valeur, la fuite et l'absorption diélectrique d'un condensateur; il permet également de mesurer l'inductance et le coefficient de surtension effectif d'une bobine.

Courtoisie de Sencore Corporation

Fig. 7. Les appareils d'essai électroniques modernes offrent de nombreuses possibilités. Celui-ci, par exemple, peut être utilisé pour vérifier des condensateurs, des bobines, des lignes de transmission et des semi-conducteurs.

12 Essais de transformateurs

Comme on l'a vu dans les cours précédents, un transformateur transforme une tension c.a. en une tension plus haute ou plus basse. Si le courant absorbé par un transformateur n'est pas un courant varia-

ble, alors il faut interrompre périodiquement «hacher» le courant continu: cette interruption provoque le changement de champ magnétique requis par le transformateur.

Comme nous l'avons déjà expliqué, un transformateur se compose d'au moins deux bobines enroulées autour d'un noyau de fer. La tension alternative fournie par la source est appliquée sur une bobine appelée *enroulement primaire*. Les autres bobines sont appelées *enroulements secondaires*; l'enroulement secondaire est magnétiquement couplé sur l'enroulement primaire, mais il n'est physiquement raccordé à aucune autre source de tension. Normalement, le secondaire est raccordé à la charge électrique et la tension est transférée de l'enroulement primaire à l'enroulement secondaire par inductance mutuelle.

13 Rapport de transformation

La tension transférée dans un transformateur dépend du nombre de tours dans les enroulements primaire et secondaire. Si le nombre de tours est plus élevé dans l'enroulement primaire que dans l'enroulement secondaire, la tension primaire est supérieure à la tension secondaire; la tension sera alors diminuée, ou *abaissée* par le transformateur. Inversement, si l'enroulement secondaire a un plus grand nombre de tours que l'enroulement primaire, la tension sera augmentée, ou *élevée*, par le transformateur. (Que se passe-t-il dans le cas d'un transformateur ayant le même nombre de tours dans les enroulements primaire et secondaire? Il transfère simplement la tension du primaire vers le secondaire. Les transformateurs de ce type sont appelés *transformateurs d'isolation*.)

Le changement, ou la *transformation*, de tension dépend du *rapport* de transformation du transformateur. Le rapport de transformation est le rapport entre le nombre de tours du primaire et le nombre de tours du secondaire:

$$\text{rapport de transformation} = \frac{N_{\text{primaire}}}{N_{\text{secondaire}}}$$

où N_{primaire} = nombre de tours dans le primaire et $N_{\text{secondaire}}$ = nombre de tours dans le secondaire. Si un transformateur-élévateur a 10 tours dans le primaire et 120 tours dans le secondaire, par exemple, le rapport de transformation sera de $^1/_{12}$, ou de 1 sur 12.

Le rapport de la tension primaire sur la tension secondaire est égal au rapport de transformation. Donc, dans l'exemple précédent, si l'on applique une tension de 50 V au primaire, la tension secondaire sera de 600 V. Le calcul est le suivant:

$$\frac{\text{tension primaire}}{\text{tension secondaire}} = \frac{1}{12}$$

$$\frac{50\ \text{V}}{\text{tension secondaire}} = \frac{1}{12}$$

$$\text{Tension secondaire} = 12 \times 50\ \text{V} = 600\ \text{V}$$

Dans un transformateur idéal, la puissance du primaire est égale à la puissance du secondaire. Par conséquent, lorsqu'on élève la tension, le courant diminue dans la même proportion que la tension augmente.

Bien sûr, le transformateur idéal n'existe pas; même lorsqu'il fonctionne à plein rendement, il y a des pertes de puissance dues à la résistance des enroulements, à la fuite magnétique, à l'hystérésis et aux courants de Foucault. De plus, un défaut peut survenir et entraîner une baisse de rendement du transformateur par rapport aux spécifications, sans compter qu'une panne grave peut provoquer l'arrêt complet du transformateur!

Les mesures de résistance de fuite permettent de déterminer si un défaut s'est créé dans l'isolement entre les bobines (ou entre une bobine et le noyau magnétique). Ces essais ne sont pas difficiles à réaliser: après avoir réglé l'ohmmètre sur la plus haute échelle, il suffit de raccorder un fil à l'une des bobines du transformateur et le deuxième fil, à l'autre bobine. Lisez ensuite la valeur de résistance affichée. La résistance doit être au moins de 1 MΩ pour 1000 V de la tension nominale du transformateur. Par exemple, un transformateur de 5 kV (kilovolts) doit avoir une résistance minimum de 5 MΩ. Si vous obtenez un résultat inférieur à 1 MΩ par kV, c'est qu'il y a un chemin de fuite. Vérifiez alors les fuites éventuelles entre chaque groupe d'enroulements du transformateur.

On peut effectuer une vérification similaire du courant de fuite entre le noyau magnétique et la bobine en raccordant un fil à la bobine et l'autre fil au noyau magnétique.

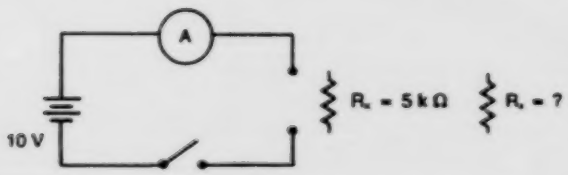
Exercice de contrôle 1

Faites une pause pour revoir quelques points-clés concernant les essais des composants passifs. Maintenant répondez aux questions suivantes. Vérifiez vos réponses et si elles sont différentes des nôtres vous trouverez l'explication à la section donnée à chaque réponse.

Vos réponses

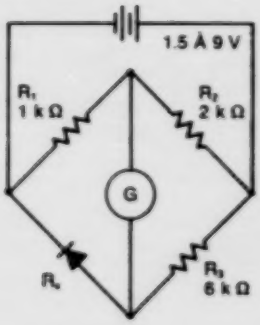
1. Dans le circuit représenté ci-dessous, vous utilisez un ampèremètre pour calculer la valeur de la résistance R_X. Le courant est de 2,0 mA (milliampères) lorsque R_X est dans le circuit et de 1,0 mA lorsque R_X est dans le circuit. Quelle est la valeur de R_X?

1. _____



2. Dans le circuit représenté ci-dessous, on utilise un pont pour mesurer la résistance directe d'une diode. La source de tension est variable, de façon à pouvoir modifier le courant qui traverse la diode. Lorsque le pont est équilibré, quelle est la résistance directe de la diode R_X?

2. _____



3. La tension maximale que peut supporter un condensateur sans risque d'être endommagé est la tension _____, ou _____.

3. _____
_____

4. Avant de mesurer la valeur d'un condensateur, vous devez chercher un(e) éventuel(le) _____.

4. _____

5. L'enroulement primaire d'un transformateur a 200 tours et l'enroulement secondaire a 1200 tours. Lorsque la tension d'entrée est de 120 V, quelle est la tension de sortie?

5. _____

Vos réponses

6. La résistance entre les bobines d'un transformateur 12 000 V doit être AU MINIMUM de: 6. _____

A. 1 kΩ (kilohm).
B. 12 kΩ
C. 1 MΩ.
D. 12 MΩ.

Réponses aux questions de l'exercice de contrôle 1

1. 10 kΩ Section 4
2. 3 kΩ Section 5, figures 2, 3 $\left(R_x = \frac{R_1}{R_2} \times R_3\right.$
$= \frac{1\text{ k}\Omega \times 6\text{ k}\Omega = 3\text{ k}\Omega)}{2\text{ k}\Omega}$
$= 120 \times \frac{1200}{200}$
$= 720)$
3. limite de claquage Section 7
4. fuite Section 9
5. 720 V Section 13
$\left(\frac{V_{primaire}}{V_{secondaire}} = \frac{N_{primaire}}{N_{secondaire}}\right.$
$V_{secondaire} = V_{primaire} \times \frac{N_{secondaire}}{N_{primaire}}$
6. D. 12 MΩ Section 13
(12 000 V = 12 kV)
12 x 1 = 12 MΩ)

Vérification des composants actifs

14 Composants actifs

Les résistances, condensateurs et bobines sont des composants passifs. Les composants comme les diodes et les transistors, qui changent le courant ou la tension électrique en faisant varier leur niveau, retardent leur passage ou changent leur forme, sont des composants actifs. Dans le domaine de l'électronique, la plupart des composants actifs sur lesquels vous aurez à intervenir sont des semi-conducteurs. En fait, les *semi-conducteurs* ont été mis au point pour remplacer les tubes à vide et vous constaterez que des comparaisons sont souvent établies entre ces deux types de composants.

15 Semi-conducteur

Un semi-conducteur[1] n'est ni un bon isolant, ni un bon conducteur. Le silicium et le germanium (isolants à l'état pur) sont des matériaux couramment utilisés dans les semi-conducteurs. Si l'on injecte une impureté dans le matériau entrant dans la fabrication du semi-conducteur, on peut altérer son aptitude à transporter une charge électrique; ce processus est appelé *dopage*.

Si le matériau du semi-conducteur est traité de façon à contenir des électrons supplémentaires, on dit qu'il est de type *N* (négatif). Au contraire, si le matériau du semi-conducteur est traité afin de créer des lacunes (ou *trous*) supplémentaires (manque d'électrons), on dit alors qu'il est de type *P* (positif).

Avant de poursuivre notre analyse des propriétés des semi-conducteurs par une discussion sur les méthodes de vérification, il convient de dire quelques mots de mise en garde. Un grand nombre de semi-conducteurs sont conçus pour fonctionner à des courants et des tensions très faibles, et il sont facilement endommagés en cas de surcharge. Sur les multimètres, la fonction de l'ohmmètre fait appel à une source interne (batterie) dont la puissance est suffisante pour endommager une diode ou un transistor. Voici donc quelques précautions à prendre.

Tout d'abord, n'oubliez jamais de déconnecter le composant du circuit. De cette manière, vous serez sûr que le composant n'est pas alimenté et que les autres composants ne reçoivent pas le courant

1. Le terme semi-conducteur peut aussi s'écrire en un seul mot (semiconducteur).

de l'ohmmètre. Par ailleurs, cette précaution permet d'éviter toute erreur dans la mesure de la résistance, qui peut être provoquée par la mesure simultanée de la résistance d'autres composants pouvant se trouver en parallèle sur la résistance que l'on vérifie (alors que la résistance doit être mesurée directement aux bornes du composant).

Ensuite, vous devez parfaitement connaître votre matériel de vérification. Lorsqu'ils sont utilisés sur l'échelle $R \times 1$, certains ohmmètres prduisent un courant de court-circuit de 100 mA qui peut endommager certains transistors. Pour vérifier votre ohmmètre, il suffit de le raccorder à un milliampèremètre, à une échelle de 200 mA, et de regarder l'affichage de la valeur du courant. Pour éviter tout risque de dommage, vous utiliserez les échelles de l'ohmmètre pour lesquelles la valeur du courant de court-circuit est inférieure à 1 mA (normalement, les gammes $R \times 100$ et $R \times 10$ K sont sûres, mais il ne faut par lire les valeurs de polarisation directe sur l'échelle $R \times 1$). Enfin, vous devez toujours observer la polarité des fils de raccordement de l'appareil. Dans la mesure où les semi-conducteurs sont des composants directionnels, cette précaution est indispensable pour pouvoir interpréter les résultats affichés de façon valable.

16 Diodes

Si deux matériaux semi-conducteurs de type contraire sont joints ensemble, on obtient une diode élémentaire (**fig. 8**). Lorsqu'aucune tension n'est appliquée, comme en (*a*), les porteurs de charge positifs (ou trous) sont distribués dans le matériau de type *P* et les porteurs de charge négatifs (ou électrons libres) sont distribués dans le matériau de type *N*. Lorsqu'une tension est appliquée, comme le mon-

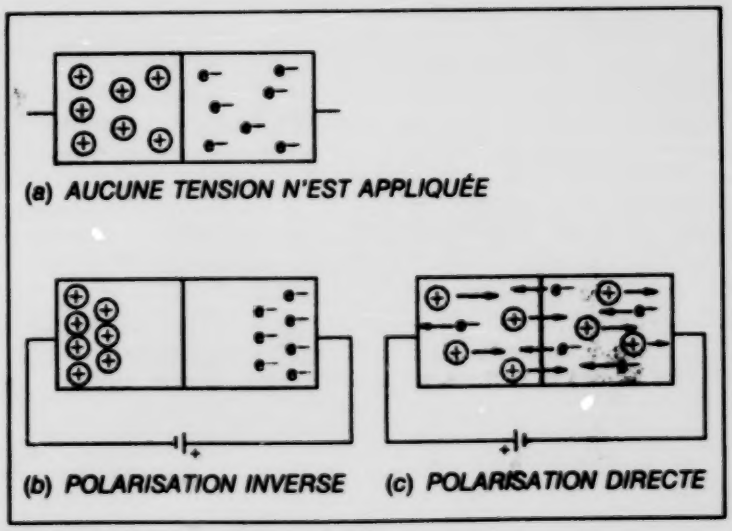


Fig. 8. Le mouvement des électrons dans une diode dépend de la polarité de la tension appliquée à ses bornes appelée polarisation. Il y a conduction lorsque la diode est en polarisation directe.

tre la figure 8(*b*), les porteurs de charge sont attirés vers le potentiel de signe opposé, si bien que la jonction entre les deux types de matériaux est complètement vidée. Puisque cette jonction est dépourvue de porteurs de charge, elle agit comme un isolant et aucun courant ne peut passer dans cette zone. On dit alors que la diode est en *polarisation inverse*. (Une diode polarisée peut être considérée comme un type de résistance directionnelle.)

Le *redresseur* est une des applications de la diode. Lorqu'une tension c.a. est appliquée aux extrémités d'une diode, la polarité de la tension change à la fin de chaque demi-cycle. Comme nous l'avons vu plus haut, les porteurs de charge sont attirés vers le potentiel de signe opposé. Puisque le courant alternatif change de polarité pendant chaque demi-cycle, la diode sera en polarisation inverse, c'est-à-dire qu'elle se comportera comme un isolant, pendant la moitié du cycle. Néanmoins, pendant l'autre moitié du cycle, la diode sera en polarisation directe. (Nous verrons pourquoi un peu plus loin.)

Lorsque la polarité de la tension est inversée, les porteurs de charge sont de nouveau attirés vers le potentiel opposé, comme le montre la figure 8(*c*). Mais cette fois, ils sont poussés de l'autre côté de la jonction entre les matériaux de types *P* et *N*, que le courant traverse facilement. On dit alors que la diode est en *polarisation directe*, c'est-à-dire qu'elle se comporte comme un conducteur. Puisque la diode ne laisse passer le courant que dans une seule direction, elle peut servir de redresseur pour convertir un courant alternatif en courant unidirectionnel.

Lorsqu'on vérifie ou qu'on installe une diode, il est important d'observer les polarités. Pour qu'une diode soit en polarisation directe, vous devez placer le potentiel positif sur le matériau de type *P* (anode) et le potentiel négatif de type *N* sur le matériau de type *N* (cathode). (Pour que la diode soit en polarisation inverse, il faut inverser la polarité des connexions.) La **figure 9** montre comment les diodes sont habituellement marquées.

On peut utiliser un ohmmètre pour effectuer une vérification rapide de court-circuit, de circuit ouvert ou de fuite anormale sur les diodes. On peut mesurer la résistance directe en raccordant le fil négatif à la cathode et le fil positif à l'anode, comme le montre la **figure 10**(*a*). L'ohmmètre doit être réglé sur l'échelle R × 100. On obtient normalement des valeurs comprises entre 500 Ω et 600 Ω pour les diodes au silicium; et entre 200 Ω et 300 Ω pour les diodes au germanium. Lorsque les valeurs affichées sont supérieures à ces valeurs, on est en présence d'une diode ouverte. Pour vérifier la présence d'un court-circuit ou d'une fuite anormale, il faut régler l'ohmmètre sur une échelle supérieure (R × 10 kΩ) et inverser les fils, comme le montre la figure 10(*b*).

Pour les diodes au germanium, les valeurs doivent se situer entre 100 kΩ et 1 MΩ; et pour les diodes au silicium, entre 100 et 1000 MΩ. (Si les valeurs affichées sont inférieures à ces valeurs, on est en présence d'un court-circuit ou d'une fuite.)

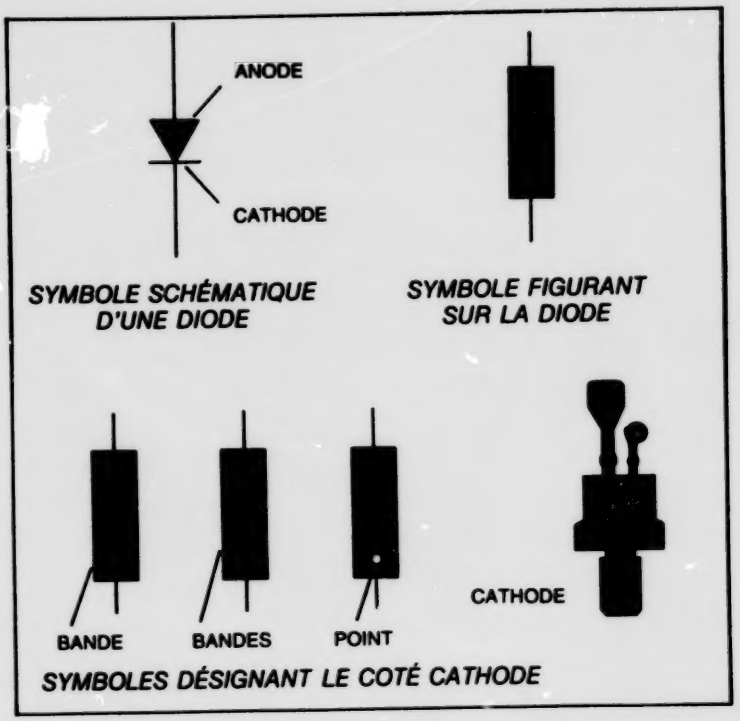


Fig. 9. Sur la plupart des diodes, on peut voir des marques externes qui désignent les broches de l'anode et de la cathode.

Fig. 10. Raccordements à réaliser pour le contrôle des résistances directe et inverse d'une diode. Cette méthode permet de détecter les court-circuits, les circuits ouverts et toute fuite anormale.

Ces mesures avec un ohmmètre sont des méthodes valables et simples; néanmoins, la vérification de la tension de claquage est décisive. Vous devez tout d'abord consulter les spécifications du fabricant pour connaître la tension nominale de la diode; vous devez ensuite raccorder le composant à une source de tension variable associée à un appareil de mesure. La diode doit pouvoir résister à la tension inverse nominale.

Une vérification des circuits ouverts, courts-circuits ou fuites peut être effectuée sur les diodes Zener, comme sur les diodes de rectification. Cependant, si l'on veut contrôler le fonctionnement d'une diode Zener à sa valeur nominale, il faut utiliser une source de tension variable associée à un appareil de mesure. Vous devez monter un milliampèremètre et une résistance de limitation en série avec la diode Zener et l'alimentation. Augmentez la tension de sortie jusqu'à ce que le courant spécifié circule dans la Zener. À l'aide d'un voltmètre branché aux bornes de celle-ci, faites varier le courant au-dessus et au-dessous de l'intensité spécifiée. La tension doit rester constante.

17 Transistors

Les transistors diffèrent des diodes parce qu'ils ont trois sections au lieu de deux: une couche de matériau semi-conducteur d'un type donné est placée entre deux couches de matériau semi-conducteur d'un autre

type. Si la couche du milieu est faite dans un matériau de type P, il s'agit alors d'un transistor NPN (négatif-positif-négatif) (**fig. 11**). Si la couche du milieu est faite dans un matériau de type N, il s'agit d'un transistor PNP (positif-négatif-positif).

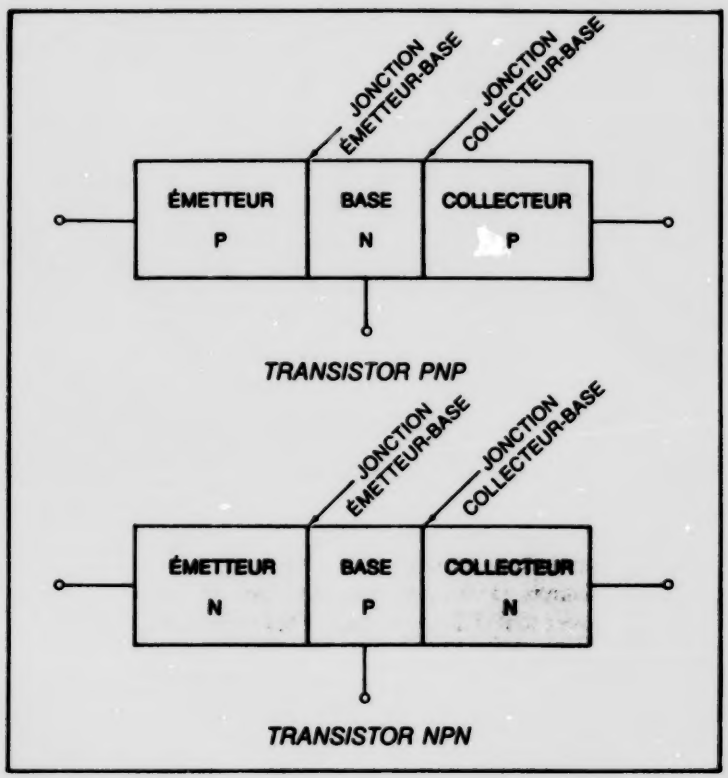


Fig. 11. Composition des transistors PNP et NPN. Vous observerez qu'ils ont l'un et l'autre deux jonctions et trois broches.

La **figure 12** montre quelques arrangements possibles des broches d'un transistor. Du fait qu'il existe des transistors très variés, il faut toujours suivre les spécifications du fabricant pour identifier les broches. Néanmoins, il arrive souvent que les marques d'identification soient usées. Dans ce cas, il suffit d'effectuer une simple vérification en trois étapes, à l'aide d'un ohmmètre, pour identifier le type de transistor et la nature des broches. Voici la méthode à suivre:

Au cours de l'étape n° 1, lire la valeur de la résistance entre chaque paire de broches, dans les sens direct et inverse. Sur les six valeurs affichées, les valeurs les plus faibles (moins de 500 Ω) signifient qu'une polarisation directe existe au niveau des jonctions émetteur-base et collecteur-base. La valeur la plus élevée se retrouve entre les broches de l'émetteur et du collecteur et elle doit être la même dans les deux sens.

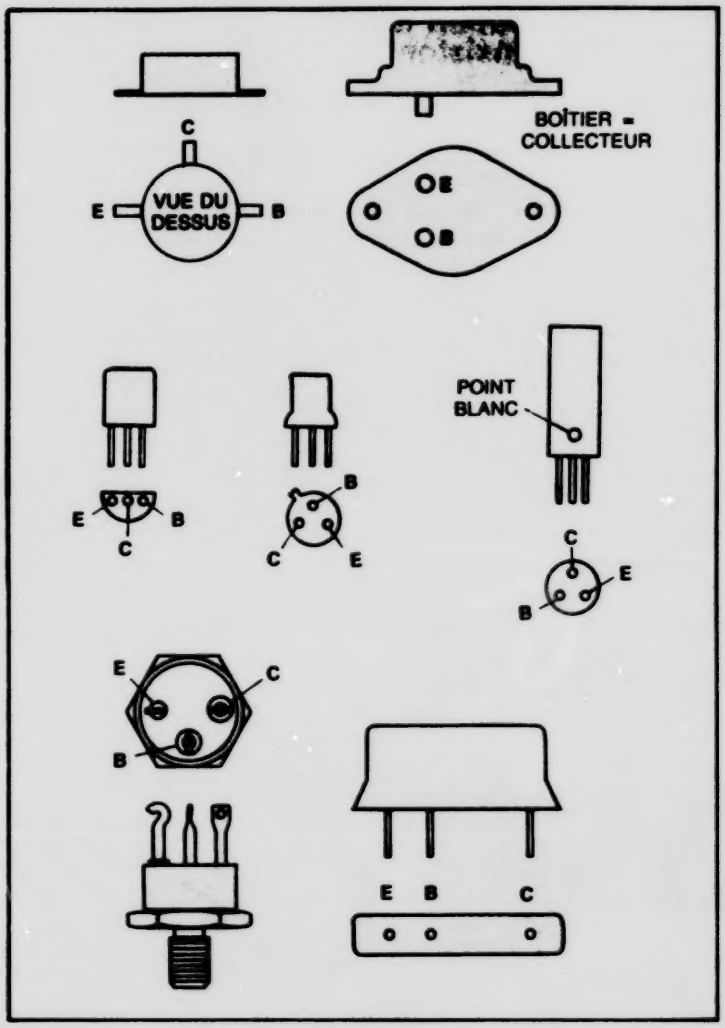


Fig. 12. On peut parfois identifier les broches d'un transistor par la configuration de ce dernier. Cependant, une simple vérification à l'aide d'un ohmmètre permet dans tous les cas d'identifier chaque terminal.

Au cours de la deuxième étape, on va identifier le type de transistor. Raccorder l'ohmmètre entre le terminal de la base et l'un ou l'autre des deux terminaux restants. S'il s'agit d'un transistor PNP, on obtiendra une valeur faible lorsque le terminal négatif de l'ohmmètre est raccordé à la base; s'il s'agit d'un transistor NPN, on obtiendra une valeur faible lorsque le terminal positif est raccordé à la base.

Enfin, à l'étape n° 3, lire deux valeurs entre les deux terminaux non identifiés du transistor, en inversant les fils de raccordement de l'ohmmètre. La valeur de résistance la plus faible est obtenue lorsque le fil négatif de l'ohmmètre est raccordé au collecteur d'un transistor PNP. S'il s'agit d'un transistor NPN, le fil négatif de l'ohmmètre est raccordé à l'émetteur.

18 Vérification des jonctions du transistor

Lorsqu'un transistor fonctionne dans les limites prescrites, il doit normalement avoir une durée de vie illimitée. Une panne, dans un transistor, est généralement provoquée par le mauvais fonctionnement d'un *autre composant du circuit*, ce qui fait subir une surcharge au transistor. Par conséquent, lorsqu'on constate qu'un transistor est défectueux, il faut faire une vérification complète du circuit pour détecter la *cause* de la panne.

Dans un transistor, les détériorations se produisent généralement sur l'une des deux jonctions. Il peut s'agir d'une jonction coupée en court-circuit, ou encore d'un courant de fuite anormal. Bien qu'il existe des appareils de mesure spéciaux pour transistors, on peut également effectuer une vérification simple à l'aide d'un ohmmètre. Pour vérifier la présence éventuelle d'une coupure à la jonction d'un transistor PNP, il faut utiliser l'échelle $R \times 100$ et raccorder le fil négatif de l'ohmmètre au terminal de base du transistor, comme le montre la **figure 13** (*a*). Faites ensuite deux relevés, la borne positive de l'ohmmètre étant raccordée au collecteur et à l'émetteur. Les valeurs de résistance directe de chaque jonction doivent

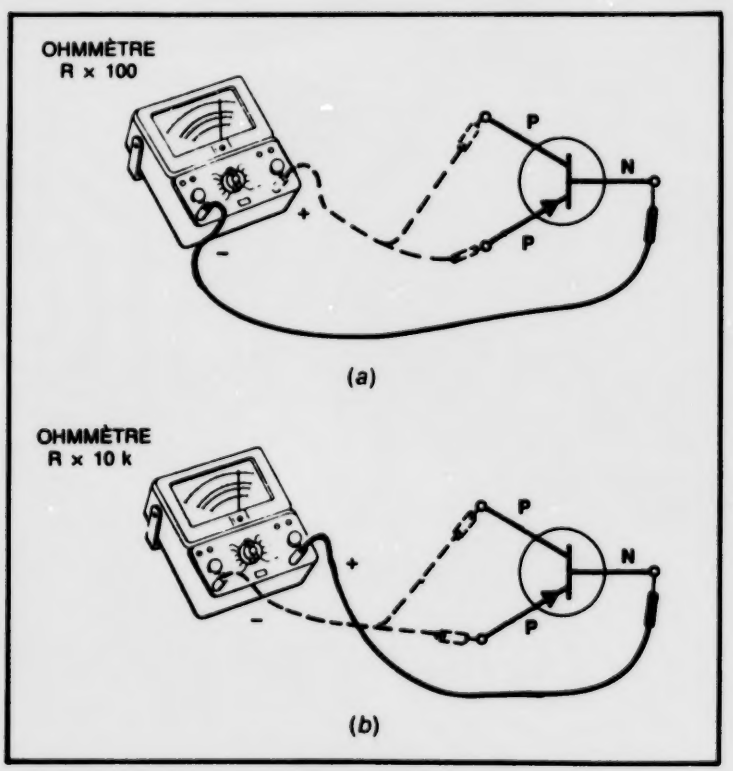


Fig. 13. On peut contrôler la présence d'une coupure à la jonction d'un transistor PNP en appliquant une polarisation directe aux jonctions (a); on utilise une polarisation inverse pour contrôler les court-circuits et les fuites. (Pour les transistors NPN, les polarités son inversées.)

être inférieures à 500 Ω . Une valeur élevée indique la présence d'une coupure à la jonction. S'il s'agit d'un transistor NPN, il faut inverser les fils de raccordement de l'ohmmètre, le fil positif étant raccordé à la base.

Pour vérifier les courts-circuits ou les fuites anormales au niveau des jonctions, il faut appliquer une polarisation inverse aux jonctions, comme le montre la figure 13(*b*). L'ohmmètre étant réglé sur l'échelle R × 10 K, raccorder la borne positive de l'ohmmètre à la base d'un transistor PNP. Lire les valeurs lorsque la borne négative est raccordée à l'émetteur et au collecteur. Pour les transistors NPN, la borne négative de l'ohmmètre doit être raccordée à la base et les valeurs doivent être lues lorsque la borne positive est raccordée à l'émetteur et au collecteur. Pour les transistors au germanium de faible et de moyenne puissance, les valeurs doivent être au moins de 500 kΩ; pour les transistors au silicium, elles doivent être de 1 MΩ au moins. Cependant, les transistors de puissance ont des jonctions plus grandes et une résistance plus faible: par conséquent, des valeurs de polarisation inverse de 50 kΩ ou plus sont suffisantes pour les transistors de puissance. Comme toujours, les valeurs précises sont fournies par les spécifications du fabricant.

19 Vérification des redresseurs commandés au silicium (SCR)

Le redresseur commandé au silicium est un redresseur à quatre couches du type PNPN, comme le montre la **figure 14**(*a*). Il est muni de trois électrodes : une cathode, une anode et une électrode de commande, appelée *gâchette*. Le symbole désignant le redresseur commandé au silicium est représenté en (*b*). Un redresseur commandé au silicium commence à être conducteur lorsque deux conditions sont remplies: l'anode est positive par rapport à la cathode *et* la gâchette reçoit un signal positif d'amplitude suffisante. Lorsqu'il est conducteur, le SCR est dans l'état passant. Dès qu'il est dans l'état passant, il continue d'être conducteur, même si le signal positif à la gâchette est supprimé. La conduction ne s'arrête que si la polarisation de l'anode est supprimée. (Lorsqu'il n'est pas conducteur, le redresseur au silicium est à l'état bloqué.)

Il existe deux états où l'anode du redresseur au silicium est positive par rapport à la cathode (état de polarisation directe). Lorsque les valeurs de polarisation directe sont faibles, la résistance est très

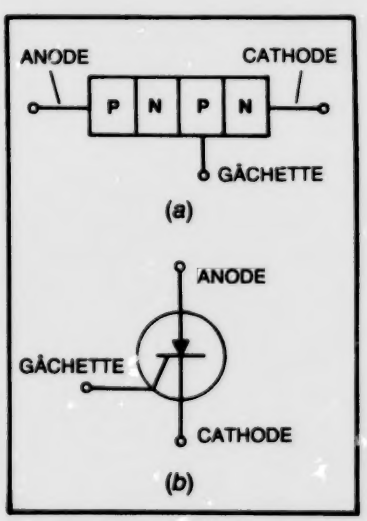


Fig. 14. Le redresseur au silicium possède quatre couches et trois jonctions, comme en (*a*). Il est désigné par un symbole unique comme en (*b*).

élevée; c'est ce qu'on appelle l'état *bloqué direct*, où un très faible courant direct circule. Au fur et à mesure que la polarisation directe augmente, on atteint un niveau où le flux du courant direct augmente rapidement. Le niveau de tension où ce flux de courant augmente est appelé *tension d'amorçage*. C'est à ce niveau que le redresseur au silicium devient passant et que sa résistance devient très faible.

En état de polarisation directe, on peut réguler ou faire varier la tension d'amorçage du redresseur en injectant un signal positif sur la gâchette. À mesure que l'amplitude de ce signal augmente, la tension d'amorçage diminue. Normalement, le redresseur commandé au silicium fonctionne nettement au-dessous de la tension d'amorçage; ce sont les signaux de gâchette qui le rendent passant.

Lorsque l'anode est négative par rapport à la cathode, le SCR est en polarisation inverse. La résistance interne est alors très élevée. Un courant très faible, appelé *courant de blocage inverse*, circule dans le redresseur, qui est alors à l'état bloqué. Cependant, si la tension inverse dépasse une limite appelée limite de tension de claquage, le courant inverse augmente rapidement. Ce phénomène est appelé *claquage*; en général, il endommage le redresseur de manière permanente.

La **figure 15** montre quelques marquages d'identification que l'on trouve couramment sur les bornes du SCR. De nouveau, il faut toujours se reporter aux spécifications du fabricant pour connaître l'identification correcte des bornes et les paramètres d'essai. Bien qu'il soit nécessaire d'utiliser un matériel de vérification spécial pour contrôler un SCR en cours de fonctionnement, on peut également effectuer une vérification simple à l'aide d'un ohmmètre. L'ohm-

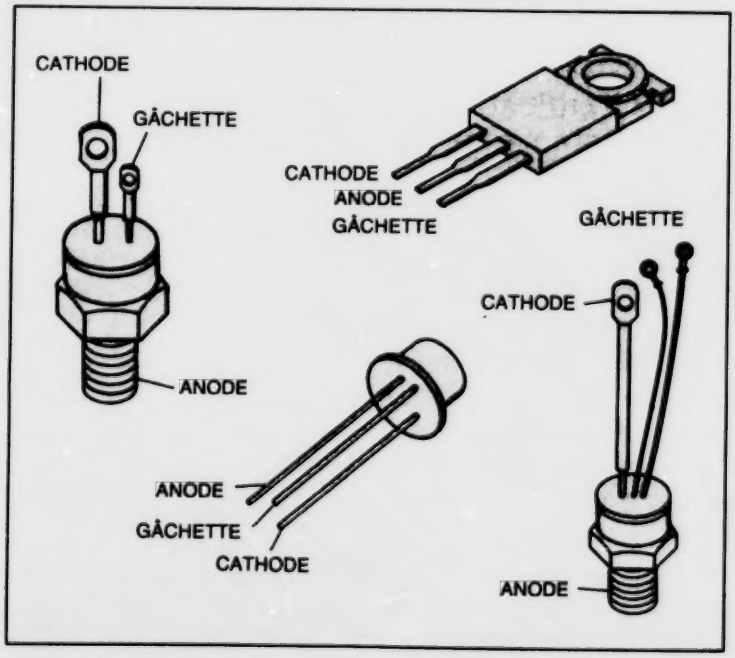


Fig. 15. Exemples de marquages d'identification courants sur les SCR. Le boîtier est souvent l'anode.

mètre étant réglé sur l'échelle $R \times 100$, raccorder la borne négative à la cathode du redresseur et la borne positive à l'anode, comme le montre la **figure 16**; court-circuiter la gâchette sur l'anode. La résistance doit être si faible (15 Ω à 50 Ω) que l'ohmmètre indique zéro. Lorsqu'on supprime le court-circuit entre la porte et l'anode, la résistance zéro doit rester constante.

Débrancher ensuite l'ohmmètre et renverser les connexions (borne négative à l'anode, borne positive à la cathode). La résistance doit être si élevée (plus de 200 kΩ) que l'ohmmètre n'affiche aucune valeur.

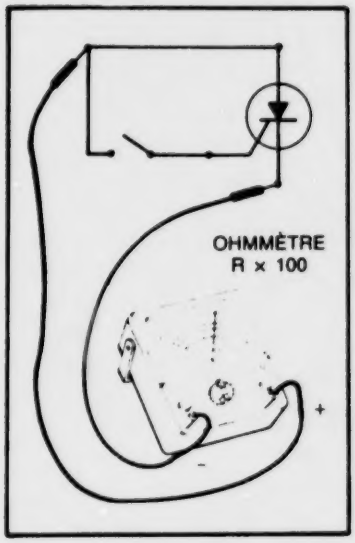


Fig. 16. Raccordement utilisé pour la vérification d'un SCR. La batterie de l'ohmmètre constitue la source de polarisation du SCR.

20 Le triac

Le triac a trois électrodes, comme le SCR. Cependant, comme le montre la **figure 17**(*a*), les électrodes sont désignées comme suit: borne n° 1, borne n° 2 et gâchette. Vous constaterez que le symbole du triac représente deux SCR montés en parallèle. Il s'agit, en substance, du circuit équivalent d'un triac, si ce n'est que le raccordement se fait de l'anode à la cathode et de la cathode à l'anode. Les gâchettes sont raccordées directement, comme en (*b*).

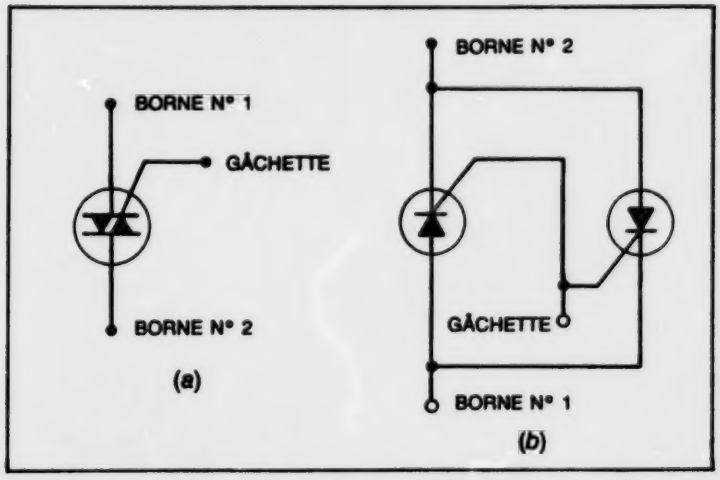
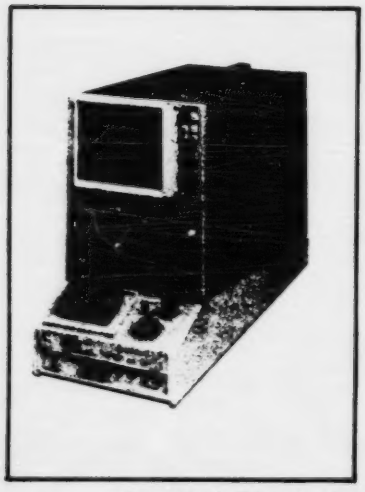


Fig. 17. Comme le montrent le symbole (a) et le circuit équivalent (b), le triac correspond en fait à deux SCR montés en parallèle. La borne n° 2 est souvent raccordée au boîtier.

En polarisation directe (borne n° 2 positive par rapport à la borne n° 1), ou en polarisation inverse (borne n° 2 négative par rapport à la borne n° 1), le triac a deux états: premièrement, état bloqué direct, et deuxièmement, état passant direct. Comme pour le redresseur commandé au silicium, on peut faire varier la tension d'amorçage en injectant un signal à la gâchette. Une vérification simple peut être effectuée sur le triac, de la même manière que sur le redresseur au silicium.

Courtoisie de B & K PRECISION Test Instruments, Dynascan Corporation

Fig. 18. Sur cet appareil de vérification, les fils de raccordement sont reliés de manière aléatoire aux bornes du composant. L'appareil est capable de les identifier et d'en vérifier le bon fonctionnement, que la vérification soit réalisée en circuit ou hors circuit.



Courtoisie de Tektronixs, Inc.

Fig. 19. Le traceur de courbes est un appareil spécialisé qui permet d'effectuer des vérifications sur différents appareils à semi-conducteurs et sur les circuits intégrés.

21 Appareils de vérification pour semi-conducteurs

Si les méthodes de vérification dont nous avons parlé jusqu'à présent servent à détecter les composants défectueux, elles sont toutes assez longues à réaliser. Il existe sur le marché un grand nombre d'appareils capables d'effectuer des vérifications beaucoup plus complètes et rapides. La **figure 18**, par exemple, montre un appareil de vérification industriel pour transistors qui peut également être utilisé sur des diodes, des SCR et sur des transistors à effet de champ. Cet appareil est capable d'identifier les broches du composant, le type de transistor (NPN ou PNP) et le matériau de base (germanium ou silicium). Il permet d'effectuer des vérifications en circuit et hors circuit. Un signal sonore indique que le transistor est en bon état de marche, ce qui évite au technicien d'avoir à regarder l'appareil.

Le type d'appareil que montre la figure 18 permet d'effectuer des vérifications complètes sur les semi-conducteurs: en effet, le composant peut être vérifié dans des conditions proches des conditions normales de fonctionnement. Les appareils de vérification industriels pour transistors sont conçus pour différentes fonctions et diffèrent sensiblement quant aux informations qu'ils fournissent. Les appareils les plus simples indiquent simplement si le transistor est bon ou mauvais; les appareils les plus sophistiqués, comme celui montré sur la figure 18, permettent de déterminer un grand nombre de paramètres. Il existe également des appareils de vérification qui indiquent le facteur d'amplification et les courants de fuite du transistor; d'autres encore fonctionnent en affichant des formes d'ondes produites dans différentes conditions de fonctionnement.

Le traceur de courbes est un analyseur commandé par ordinateur qui sert à identifier un faible facteur béta, un fort courant de fuite et de saturation, une faible tension de claquage du collecteur, l'instabilité thermique, ainsi que les défauts communs aux jonctions des transistors. L'explication du fonctionnement d'un tel appareil (**fig. 19**) n'entre pas dans le cadre de ce cours. Comme toujours, les manuels d'instructions des fabricants sont la meilleure source d'information.

22 Appareils pour vérification de tubes à vide

Il existe de nombreux types d'appareils de vérification pour tubes à vide. **Néanmoins, du fait du nombre incalculable de tubes existants et des conditions de fonctionnement très variables, il est impossible de détecter tous les types de défauts.** Par conséquent,

la meilleure méthode consiste à remplacer le tube suspect dans le circuit par un tube en bon état de marche.

Certains appareils de mesure permettent de vérifier, par envoi d'un signal, les caractéristiques statiques d'un tube, mais non sa performance. Sur un certain type d'appareil, les électrodes sont montées en parallèle et un signal c.a. est envoyé dans le tube. Le courant est affiché sur un autre appareil dont l'étalonnage indique simplement bon, moyen ou mauvais.

Il existe un appareil plus complexe qui permet d'appliquer une tension à la grille du tube. Ce type de mesure se rapproche plus des conditions normales de fonctionnement, et les changements de courant anodique provoqués par un changement de la tension de grille peuvent être surveillés. Les appareils de vérification pour tubes à vide sont également capables d'identifier les éléments en circuit ouvert et en court-circuit et le courant de grille peut être vérifié, ce qui permet de détecter la présence de gaz dans les tubes et les défauts de même nature.

La **figure 20** montre un appareil moderne à semi-conducteurs pour la vérification de tubes à vide. Vous noterez la complexité apparente de cet appareil, par rapport à l'appareil de vérification pour transistors représenté sur la figure 18. Un tableau fourni avec l'appareil donne les instructions de réglage pour plus de 2500 tubes.

Courtoisie de B & K PRECISION Test Instruments, Dynascan Corporation

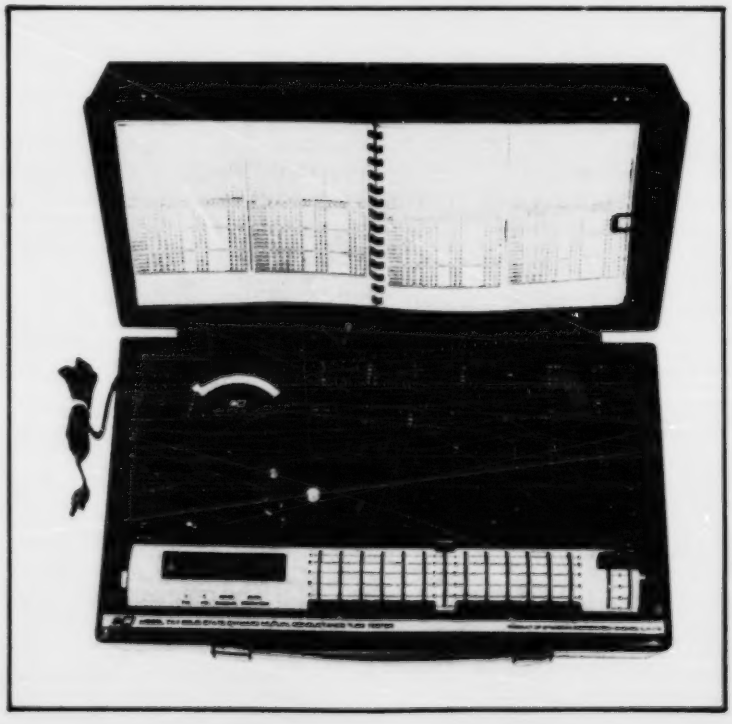


Fig. 20. L'appareil de mesure Dynascan 747 B permet de contrôler un grand nombre de tubes différents. Le tableau fourni avec l'appareil donne les valeurs de réglage des tubes.

23 Appareils pour vérification en circuit

Les appareils de vérification en circuit sont des bancs d'essai électroniques assez complexes qui permettent de vérifier les circuits électroniques de manière rapide et simple. Ces appareils sont généralement commandés par ordinateur. La mise au point de la méthode de vérification synthétisée est compliquée, mais l'opération effective est souvent assez simple. Bien qu'ils soient principalement conçus pour les vérifications de masse (comme pour le contrôle de qualité industriel), ces appareils peuvent être des outils de dépannage extrêmement précieux.

24 Circuits intégrés (CI)

Les circuits intégrés, ou CI, représentent la technologie la plus avancée dans le domaine des circuits électroniques. Dans les circuits électroniques classiques, les composants individuels (ou *discrets*) sont d'abord fabriqués, puis assemblés pour former un circuit. À l'époque des premiers circuits intégrés, ce même concept était appliqué, à la différence près que les composants étaient montés sur un circuit imprimé. Mais aujourd'hui, les circuits intégrés sont conçus et fabriqués de manière *monolithique*: des centaines de diodes, de transistors et de résistances sont formés ou «développés» selon le même procédé et simultanément.

Les avantages des circuits intégrés découlent de leur miniaturisation et de leur grande fiabilité; ces avantages impliquent dans tous le cas des économies de coûts substantielles. L'inconvénient est que les circuits intégrés ne sont pas réparables: lorsqu'ils tombent en panne, il faut les remplacer. Seuls les conducteurs, appelés broches, sont accessibles et peuvent donc être raccordés et vérifiés. Quelques circuits intégrés courants sont représentés sur la **figure 21.**

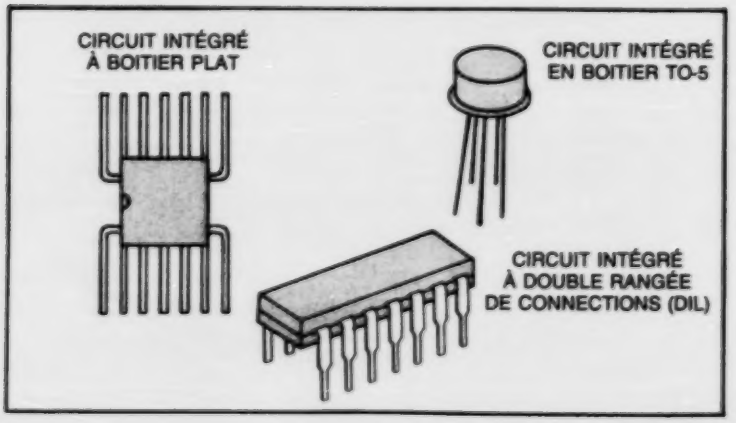


Fig. 21. Exemples de circuits intégrés de configuration courante.

Il est peut-être plus facile de comprendre les circuits intégrés en parlant d'abord de certains de leurs précurseurs. La **figure 22** montre un circuit câblé, sur lequel les composants individuels sont

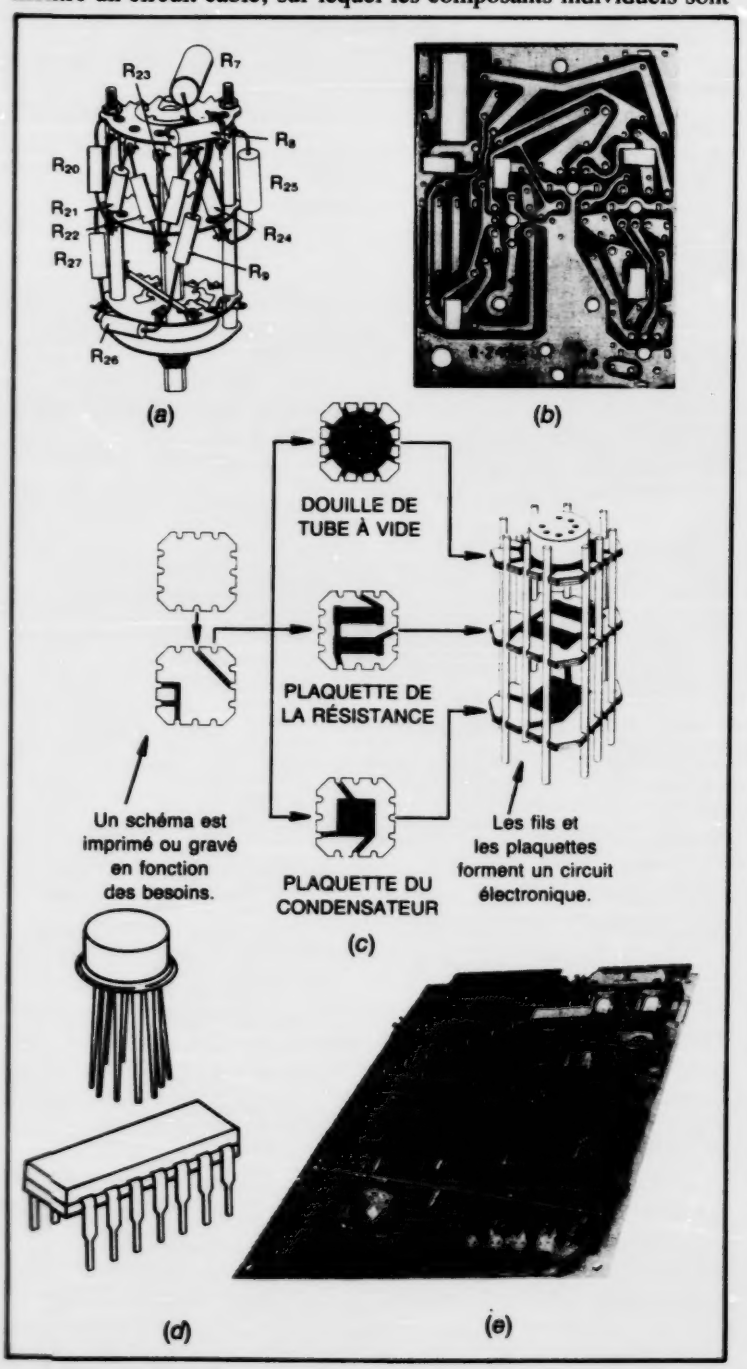


Fig. 22. Circuit câblé formé par des composants individuels et par des connexions câblées (*a*). Un circuit imprimé (ou plutôt gravé) permet d'éliminer la plupart du câblage (*b*). Le circuit est gravé sur un côté de la plaque et les composants sont montés sur l'autre côté. Les conducteurs passent dans des trous prévus sur la plaque.
Les circuits tri-dimensionnels (*c*) sont une combinaison de circuits imprimés et de composants. Ce circuit est muni dans la partie haute d'une douille pour tube. Bien qu'ils soient plus petits que les circuits câblés, ces circuits sont très grands par rapport aux circuits intégrés.
Les circuits intégrés modernes, réalisés grâce à un procédé complexe de microgravure (*d*) sont si petits que le circuit représentant un compteur décimal peut être bâti à l'intérieur d'une puce dont la surface est bien inférieure à un pouce carré! Une plaque de circuit imprimé est formée par des composants discrets et par des puces à leurs places respectives. En haut, on peut voir les connecteurs enfichables qui permettent de raccorder la plaque à un circuit plus complexe.

fixés par des fils. La plaque de circuit imprimé (*b*) a permis d'éliminer une grande partie de ce câblage. Le circuit tridimensionnel représenté en (*c*) était formé par un ensemble de plaques de circuit imprimé et de composants. Comme pour les circuits intégrés représentés en (*d*), lorsqu'un circuit tridimensionnel tombait en panne, il fallait le changer entièrement. En (*e*) sont représentées des puces de circuit intégré et des composants passifs montés sur la même plaque.

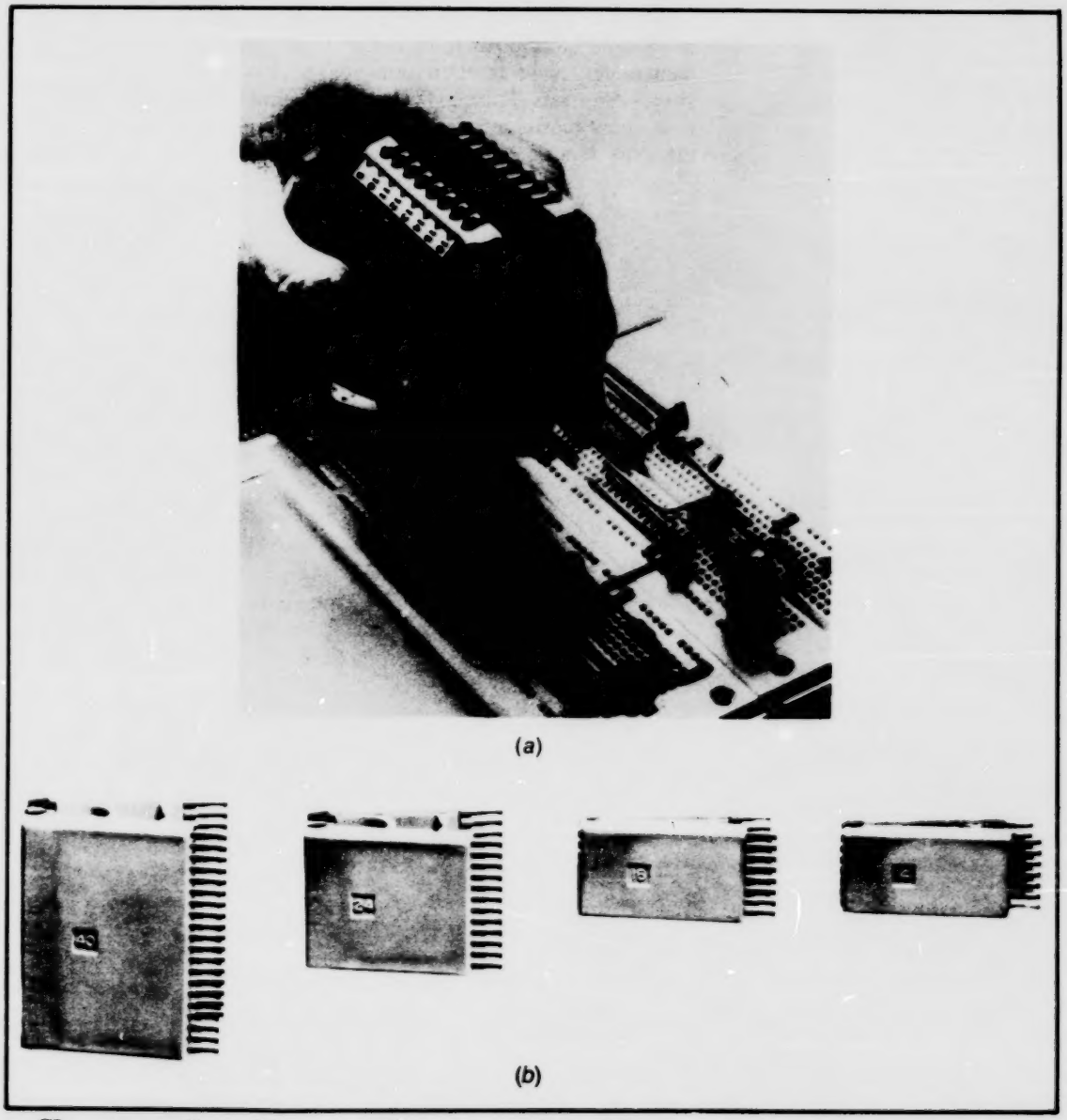
La **figure 23** montre une pince de vérification pour circuit intégré. Les CI étant de très petite taille, cette pince permet de les vérifier sans qu'il soit nécessaire de les démonter de la plaque de circuit imprimé. La pince permet également à l'opérateur d'effectuer la vérification lorsque le CI est branché, sans avoir à toucher la sonde. Des encoches sont prévues pour faciliter l'emploi des pinces et des sondes. La broche n° 1 est généralement repérée par une encoche ou par un point. Puisqu'il existe une très grande variété de CI, il est nécessaire de se reporter à la fiche technique ou au manuel d'instructions du fabricant pour les mesures de performance. En règle générale, il suffit d'effectuer une vérification de la masse, de la tension d'alimentation et de la tension d'entrée et de sortie, pour savoir si un CI fonctionne correctement.

25 Manuels et fiches techniques relatifs aux transistors et aux circuits intégrés

Les manuels relatifs aux transistors et aux CI sont publiés chez les éditeurs techniques et par certains fabricants d'appareils à semiconducteurs. On peut se les procurer directement chez le fabricant ou auprès des fournisseurs de matériels électroniques. La plupart des manuels contiennent une section sur la théorie de base et sur les applications, alors que les fiches techniques fournissent des renseignements spécifiques sur les diodes, les transistors et autres semiconducteurs. (Les CI sont généralement traités dans des manuels séparés; cependant, la structure générale des manuels est la même.)

Les fiches techniques donnent la description du composant; le dessin de la configuration, ou des différentes configurations (si le composant existe en plusieurs versions); les régimes maxima; les caractéristiques thermiques et électriques; les données mécaniques et des exemples d'applications de circuits. La fiche technique d'un CI donne l'identification des broches et, en règle générale, le symbole logique désignant le circuit; elle peut également inclure une table de vérité.

Deux types de systèmes de numérotation sont utilisés dans ces manuels. Des numéros de types sont attribués aux appareils à semiconducteurs par le JEDEC (Joint Electron Device Engineering Council). Les diodes à semi-conducteurs ont généralement un numéro commençant par 1N; les transistors, par 2N (par exemple, 2N404 et 2N3250); les préfixes utilisés pour les CI sont CA et CD. Le préfixe CA désigne un CI universel, alors que le préfixe CD désigne



(*a*)

(*b*)

un CI pour appareil numérique, un ordinateur par exemple. Récemment les préfixes que l'on retrouve sur un CI peuvent également identifier le fabricant; Ex: CA pour RCA, PA pour Fairchild, MC pour Motorola, LM pour National, etc. Les numéros de types JEDEC sont apposés sur des appareils ayant les mêmes caractéristiques électriques, quel que soit le fabricant. Bien sûr, les fabricants ont également une numérotation qui leur est propre pour les appareils à semiconducteurs, mais ces numéros ne s'appliquent qu'à leurs propres composants.

Courtoisie de Global Specialties Corporation

Fig. 23. Les pinces de vérification pour circuits intégrés servent à établir des connexions temporaires sur les circuits intégrés.

Les **figures 24**(*a*) et (*b*)(pages 243 et 244) montrent une fiche technique type fournie par le fabricant. Cette fiche renferme pratiquement toutes les informations dont vous avez besoin sur les deux transistors examinés. Puisque les transistors sont très sensibles à l'environnement thermique, les températures de fonctionnement recommandées sont également incluses.

TRANSISTORS DE COMMUTATION AU SILICIUM NPN

2N3506
2N3507
TRANSISTORS DE COMMUTATION AU SILICIUM NPN

TRANSISTOR ÉPITAXIAL PASSIVÉ AU SILICIUM À JONCTION DIFFUSE

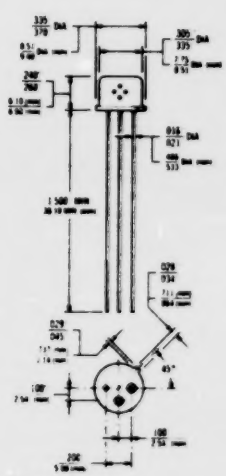
Ces transistors sont conçus pour des applications demandant un courant fort, une grande vitesse de commutation saturée et une commande de mémoires à tores. Ces transistors corespondent aux technologies les plus récentes, ce qui garantit leur grande fiabilité.

CARACTÉRISTIQUES

- **Commutation rapide**
- **Basse tension de saturation**
- **F_T minimum de 60 MHz**
- **Faible courant de fuite**

APPLICATIONS

- **Alimentations régulées à découpage à grande vitesse**
- **Alimentations régulées**
- **Convertisseurs**
- **Onduleurs**
- **Commande de mémoires à tores**



RÉGIMES MAXIMA ABSOLUS

Températures maximales		
Température de stockage	– 65 °C à + 200 °C	
Température de régime de la jonction	+ 200 °C	
Température des broches (soudage, limite de temps 60 secondes)	+ 300 °C	
Dissipation de puissance maximale		
Dissipation totale à une température de boîtier de 25 °C	5 Watts	
Facteur de réduction linéaire	28,6 mW/°C	
Tensions et courants maxima	2N3506	2N3507
V_CEO Tension collecteur-émetteur	40 Volts	50 Volts
V_CBO Tension collecteur-base	60 Volts	80 Volts
V_EBO Tension émetteur-base	5 Volts	5 Volts
I_C Courant collecteur	3 Amps	3 Amps

PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES

Boîtier TO-5
Poids: 1,8 g (environ)
Conducteurs: Covar, placage or
Broche 1. Émetteur 2. Base 3. Collecteur
Marquage ⁘ sur boîtier et n° de pièce

CARACTÉRISTIQUES ÉLECTRIQUES (Température du boîtier: 25 °C, sauf indication contraire)

CARACTÉRISTIQUES	SYMBOLE	CONDITIONS D'ESSAI	2N3506 MIN.	2N3506 MAX.	2N3507 MIN.	2N3507 MAX.	UNITÉS
Tension de claquage collecteur-base	BV_{CBO}	I_C = 100µ A, 1_E = 0	60		80		Volts
* Tension de claquage collecteur-émetteur	BV_{CEO}	I_C = 10mA, I_B = 0	40		50		Volts
Tension de claquage émetteur-base	BV_{EBO}	I_E = 10µA, I_C = 0	5		5		Volts
*Gain courant c.c.	h_{FE}	I_C = 500mA, V_{CE} = IV	50		35		
*Gain courant c.c.	h_{FE}	I_C = 1,5A, V_{CE} = 2V	40	200	30	150	
*Gain courant c.c.	h_{FE}	I_C = 2,5A, V_{CE} = 3V	30		25		
*Gain courant c.c.	h_{FE}	I_C = 3A, V_{CE} = 5V	25		20		
*Tension de saturation collecteur	V_{CE} (SAT)	I_C = 1,5A, I_B = 150mA		1,0		1,0	Volts
		I_C = 2,5A, I_B = 250mA		1,5		1,5	Volts
*Tension de saturation base	V_{BE} (SAT)	I_C = 1,5A, I_B = 150mA	0,9	1,4	0,9	1,4	Volts
		I_C = 2,5A, I_B = 250mA		2,0		2,0	Volts
Courant de coupure collecteur	I_{CEX}	V_{CE} = 40V, V_{EB} = 4V		1,0			µAmps
		V_{CE} = 60V, V_{EB} = 4V				1,0	µAmps
Courant de coupure base	I_{BL}	V_{CE} = 40V, V_{EB} = 4V		1,0			µAmps
		V_{CE} = 60V, V_{EB} = 4V				1,0	µAmps

* Conditions de mesure d'impulsion = longueur ≤300 µsec.; coefficient d'utilisation ≤2%.

GENERAL SEMICONDUCTOR INDUSTRIES INC

GENERAL SEMICONDUCTOR INDUSTRIES, INC.

CARACTÉRISTIQUES DYNAMIQUES

CARACTÉRISTIQUES	SYMBOLE	CONDITIONS D'ESSAI	MIN.	MAX.	UNITÉS
Délai	D	Voir figure 2		15	nSec
Temps de montée	T_m	Voir figure 2		30	nSec
Temps de stockage	T_s	Voir figure 2		55	nSec
Temps de descente	t_d	Voir figure 2		35	nSec
Capacité collecteur-base (f = 1,0 MHz)	C_{OB}	V_{CE}=10V, I_E=0		40	pF
Produit largeur de bande-gain de courant (f = 20 MHz)	f_T	I_C=100mA, V_{CE}=5V	60		MH_Z

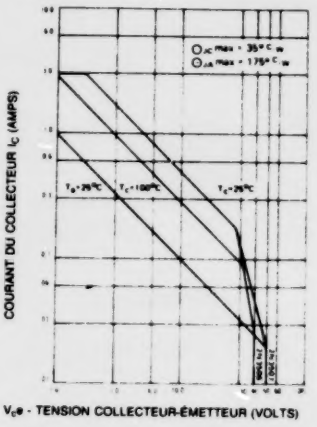


Figure 1
ZONE DE FONCTIONNEMENT À SÉCURITÉ MAXIMALE

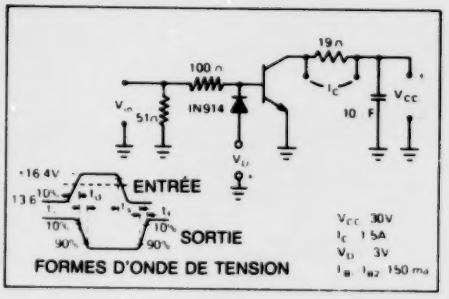


Figure 2
CIRCUIT DE COMMUTATION

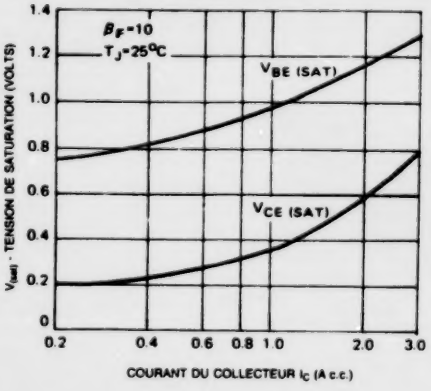


Figure 3
TENSIONS DE SATURATION

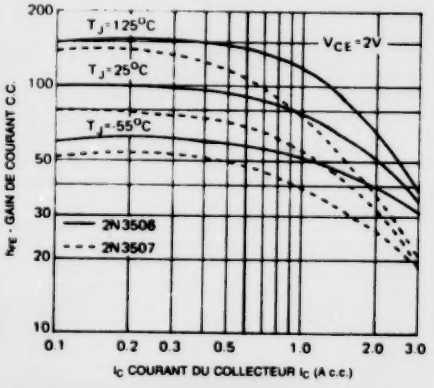


Figure 4
TEMPS DE COMMUTATION

GENERAL SEMICONDUCTOR INDUSTRIES, INC.

Courtoisie de General Semiconductor Industries, Inc.

Fig. 24. Fiche technique fournie par le fabricant, concernant deux transistors de commutation NPN. L'identification des broches est donnée au recto (a) et plusieurs graphes sont reproduits au verso (b).

Exercice de contrôle 2

Il est temps de faire une deuxième pause pour vérifier vos connaissances sur les essais des composants actifs. Comparez vos réponses aux nôtres et, si nécessaire, révisez les sections citées en référence.

Vos réponses

1. Pour qu'une diode soit en polarisation directe, vous devez raccorder un potentiel (positif, négatif) _____ à l'anode et un potentiel (positif, négatif) _____ à la cathode.

1. _____
_____

2. La configuration suivante sert à mesurer la résistance (directe, inverse) _____ d'une diode. Pour une diode au silicium, la résistance doit être de _____ Ω.

2. _____
_____

OHMMÈTRE RÉGLÉ SUR L'ÉCHELLE
R x 100

3. Pour essayer d'identifier les bornes d'un transistor, vous devez savoir quelle est la valeur directe la plus élevée affichée pour les broches _____ et _____.

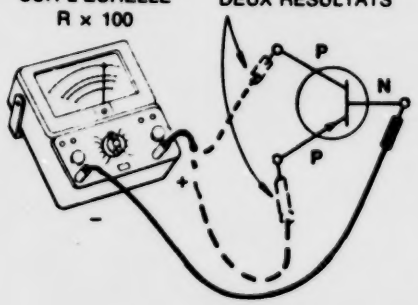
3. _____
_____

4. La configuration suivante sert à vérifier un (circuit ouvert, court-circuit) _____ sur la jonction. Les deux résultats affichés doivent être inférieurs à _____ Ω si le transistor n'est pas défectueux.

4. _____
_____

OHMMÈTRE RÉGLÉ
SUR L'ÉCHELLE
R x 100

DEUX RÉSULTATS



Vos réponses

5. Quelles sont les trois électrodes d'un redresseur commandé au silicium? 5. _____

6. Le circuit équivalent d'un triac est formé par deux redresseurs commandés au silicium montés de la manière suivante: 6. _____

   A. Anode-anode, cathode-cathode, porte-porte
   B. Anode-cathode, cathode-anode, porte-porte
   C. Anode-porte, cathode-cathode, porte-anode
   D. Cathode-porte, anode-anode, porte-cathode

7. Le moyen le plus efficace pour contrôler un tube est la méthode de _____. 7. _____

Réponses aux questions de l'exercice de contrôle 2

1. positif
   négatif Section 16
2. directe 500 à 600
   Section 16, fig. 10(*a*)
3. de l'émetteur
   du collecteur Section 17
4. circuit-ouvert
   500 Section 18, fig. 13(*a*)
5. Cathode, anode et porte Section 19, fig. 14
6. *B.* anode-cathode, cathode-anode
   Section 20, fig. 17(*b*)
   porte-porte
7. substitution du tube
   Section 22

Techniques de soudage

26 Principes de base

Le *soudage* est une technique qui permet d'assembler deux pièces métalliques avec une mince couche d'un troisième métal (appelé soudure, qui est un alliage utilisé à l'état fondu). Le but n'est pas de faire un raccord mécanique, mais de créer une connexion électrique entre deux conducteurs.

Il existe de nombreux types de soudures, chacune ayant une fonction spécifique. Pour les applications électriques et électroniques, les soudures composées à 60% d'étain et à 40% de plomb (appelées 60/40) sont les meilleures. Ce mélange donne une résistance suffisante, sans qu'il soit nécessaire d'appliquer une chaleur intense qui risquerait d'endommager les composants. Si la soudure 60/40 fond environ à 360°F (182°C), elle ne s'allie, ou n'entre en fusion avec la plupart des métaux qu'à une température de 600°F environ (316°C). (Comme nous l'expliquerons plus loin, on évite ce qu'on appelle la «soudure froide» en appliquant la chaleur sur la connexion et non la soudure.)

Pour faire une bonne soudure, il faut que les surfaces métalliques à souder soient propres. Il faut enlever complètement toute trace d'isolant, de graisse ou d'huile. L'oxydation est le résultat d'une réaction chimique entre le métal et l'oxygène; même si elle est invisible, elle empêchera la réalisation d'une soudure correcte.

Une forte oxydation peut être enlevée en frottant la surface avec de la laine d'acier; cependant, un flux de résine est en général suffisant. Ce flux, qui est contenu dans la soudure elle-même, empêche l'oxydation en cours de soudage. Il existe également des soudures à flux acide, mais leur utilisation doit être évitée car elles corrodent les bornes et les fils.

27 Étamage et connexion

L'étamage est un procédé qui consiste à appliquer une couche mince de soudure sur la surface d'un métal. La soudure pénètre dans la

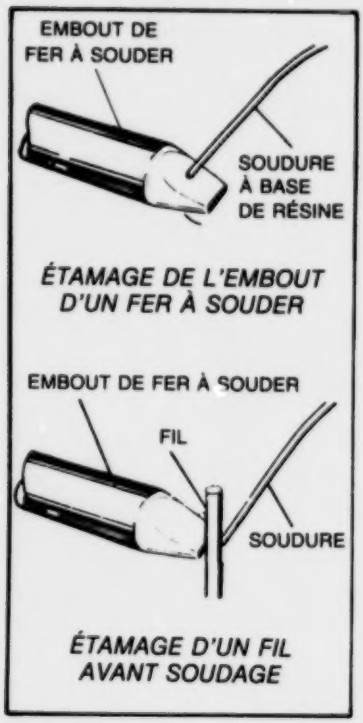


Fig. 25. Il faut étamer les embouts de fers à souder et les fils après le nettoyage et avant de les connecter.

surface du métal, ce qui à la fois empêche l'oxydation et facilite le transfert thermique. Les embouts de fers à souder neufs doivent être étamés avant d'être utilisés. Il est recommandé d'étamer l'embout du fer à souder lorsqu'il est chauffé pour la première fois; par la suite, l'embout doit rester étamé. *Ne jamais essuyer la soudure d'un embout avec un chiffon.*

En plus de l'embout du fer à souder, il faut également étamer séparément les conducteurs, les connexions ou les bornes à souder. Cette opération doit être faite immédiatement avant le nettoyage des composants et avant de les connecter physiquement. La **figure 25** montre comment sont étamés les fers à souder et les conducteurs.

Après le nettoyage et l'étamage, l'étape suivante consiste à connecter physiquement les bornes ou les fils devant être assemblés. N'oubliez pas que le but du soudage n'est pas d'assurer une bonne adhésion mécanique, mais une bonne connexion *électrique*. Par conséquent, les conducteurs ou fils doivent être physiquement ou mécaniquement connectés (par épissure ou joint torsadé) avant d'être soudés. La **figure 26** montre quelques méthodes couramment utilisées pour établir cette connexion physique.

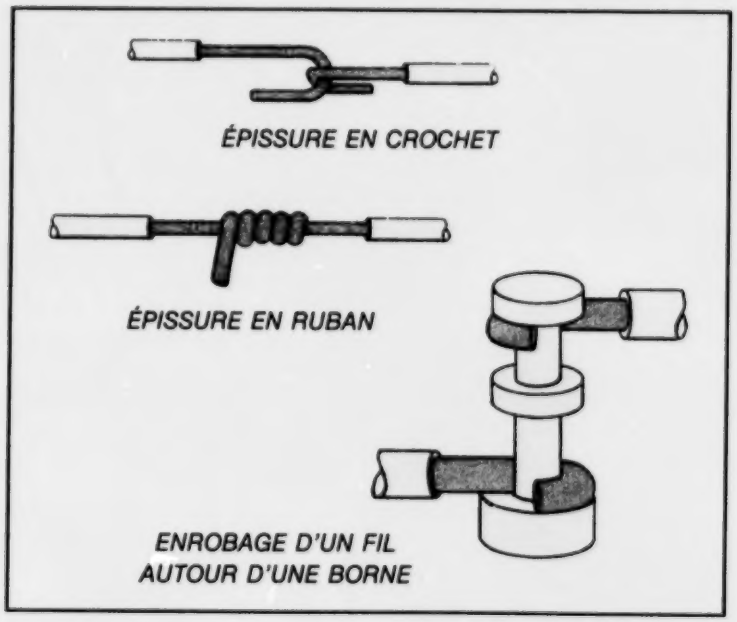


Fig. 26. Méthodes de connexion des conducteurs avant le soudage.

28 Dissipateurs thermiques

La plupart des semi-conducteurs et des circuits intégrés sont sensibles à la chaleur. Par conséquent, avant de souder les conducteurs,

il faut trouver un moyen pour empêcher qu'une chaleur excessive atteigne le composant. Ce qu'on appelle *dissipateur thermique* est une pince, un outil ou un autre conducteur de chaleur en métal, fixé entre le composant et le point de soudage. Sa fonction est d'absorber la chaleur avant qu'elle n'atteigne le composant.

Il existe sur le marché différentes sortes de dissipateurs thermiques; mais, pour la plupart des applications, des pinces crocodile ou des pinces à long bec suffisent. Seule exception: il faut étamer ou souder du fil torsadé ou guipé; en effet, la soudure a tendance à remonter dans les torsades qui se comportent comme une mèche. Si la soudure vient se loger sous l'isolant, le fil est affaibli à cet endroit. Il existe un *dissipateur thermique* spécial, appelée mèche de sécurité, qui maintient une température peu élevée sur le fil à l'endroit où il est en contact avec l'isolant.

29 Soudage d'un joint

Pour souder un joint, il faut placer l'embout du fer à souder et la soudure de part et d'autre de la connexion, comme le montre les **figures 27**(*a*) à (*d*). L'embout doit être placé de telle sorte que la pres-

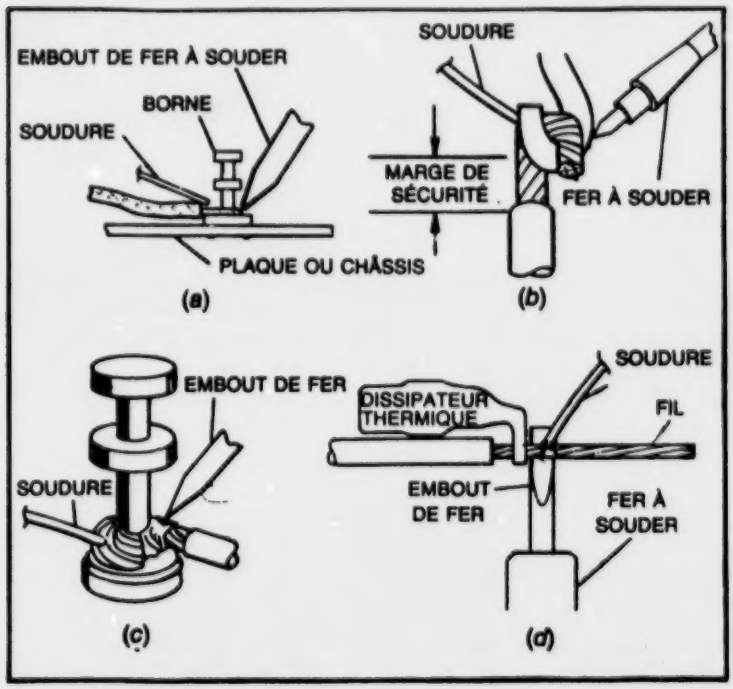


Fig. 27. Dans le processus de soudage, la chaleur et la soudure sont appliquées des deux côtés de la connexion.

que totalité de sa surface soit en contact avec la connexion. La chaleur doit être appliquée jusqu'à ce que le joint soit suffisamment chaud pour que la soudure fonde lorsqu'elle entre en contact avec le joint. Il faut toujours appliquer la soudure d'un côté du joint et la chaleur de l'autre côté. **La soudure ne doit jamais être appliquée sur l'embout du fer à souder lui-même.**

Pour obtenir une bonne connexion électrique, il faut utiliser la juste quantité de soudure. La soudure n'a pas pour fonction de remplir les trous ou les vides. Si l'on utilise la bonne quantité de soudure, les contours des surfaces qui viennent d'être soudées doivent être apparents. Après refroidissement, la soudure doit être brillante; dans le cas contraire, c'est qu'elle n'a pas été bien appliquée.

30 Soudage des circuits imprimés

Tout excès de chaleur endommage facilement les plaques de circuits imprimés. Les petits composants de ces circuits sont, en règle générale, également sensibles aux excès de température. Par conséquent, lorsqu'on soude un composant sur une plaque de circuit imprimé, il faut prendre beaucoup de précautions.

Comme pour une opération de soudage normal, il faut d'abord établir un raccord mécanique entre les composants et les conducteurs. Les conducteurs des composants doivent être écartés ou rivetés. Il faut utiliser des dissipateurs thermiques pour éviter que les composants soient endommagés. Si le composant à souder n'est pas sensible à la chaleur, on peut le souder de manière à remplir le trou prévu dans la plaque du circuit imprimé. Mais les composants sensibles à la chaleur doivent être soudés à la partie inférieure de la plaque, en évitant que la soudure ne coule dans le trou.

Si l'on sait qu'il faudra probablement changer les circuits intégrés sur une plaque de circuit imprimé (ce qui peut être le cas pour un prototype), il faut alors souder une douille de CI sur la plaque. Il suffira ensuite d'enficher les circuits intégrés dans la douille. Si vous devez enlever un circuit intégré de sa douille (ou le dessouder de la plaque), vous pouvez utiliser un extracteur spécial pour circuit intégré. Cet outil ressemble à des pinces fines munies de petits crochets aux extrémités. Vous utiliserez ces extracteurs pour CI chaque fois que vous en aurez besoin: si vous essayez d'enlever le circuit intégré avec un tournevis, ou un outil du même genre, vous risquez d'endommager les broches.

31 Dessoudage

Le dessoudage est essentiellement la même opération que le soudage, mais réalisé à l'envers. On applique la chaleur sur le joint et, lors-

que la soudure est fondue, on retire soigneusement le composant du joint.

Lorsqu'on doit dessouder un composant d'une plaque de circuit imprimé, les mêmes précautions doivent être prises pour éviter qu'il soit endommagé par la chaleur. Si la pièce est destinée à être détruite, il est préférable de couper les fils près de la pièce en question, en laissant une bonne longueur de broche attachée à la plaque. Dans tous les cas, il faut au moins couper un des conducteurs du composant à dessouder. Cependant, on laissera suffisamment de broche soudée sur la plaque pour pouvoir la saisir avec des pinces au moment du dessoudage.

Tout excès de soudure sur la plaque devra être enlevé. Il existe sur le marché un outil de dessoudage spécial qui aspire la soudure fondue. Cependant, on peut également utiliser une mèche faite de fil guipé ou torsadé pour absorber l'excès de soudure.

32 Solvants et lubrifiants

Les résidus de résine sur un joint soudé doivent être enlevés avec du coton et de l'alcool. Il existe également des solvants spéciaux. **Cependant, avant d'utiliser des solvants et des lubrifiants sur des pièces électroniques, il faut s'assurer qu'ils sont bien conçus pour des applications électriques.** Il est souvent important, par exemple, que les solvants soient ininflammables. Il existe des solvants spéciaux pour enlever le flux de résine, pour absorber une pellicule d'eau et pour enlever une pellicule d'huile. Ces solvants peuvent être utilisés sans risque sur les composants sensibles aux substances chimiques.

Il est important de savoir que le flux, comme d'autres produits chimiques, peut être conducteur. Même si cela ne pose généralement pas de problème, il faut toujours s'en souvenir.

Exercice de contrôle 3

Vous allez maintenant faire une pause pendant quelques minutes et revoir quelques points-clés sur les techniques de soudage avant de répondre à l'examen personnel. Comparez vos réponses aux nôtres et révisez, au besoin, les notions qui ne vous sont pas claires.

Vos réponses

1. Le type de soudure approprié aux connexions électriques est un alliage composé de 60 % de _____ et 40 % de _____,ainsi que d'un flux _____.

   1. _____

2. Comment peut-on éliminer les soudures froides dans les travaux électriques?

   2. _____

3. Vrai ou faux? Il faut essuyer avec un chiffon les embouts des fers à souder immédiatement après leur emploi.

   3. Vrai Faux
   (Encerclez la bonne réponse)

4. Classer les étapes suivantes dans l'ordre chronologique correspondant au procédé de soudage.

Connexion physique des conducteurs	Application de la soudure sur la connexion
Retrait du dissipateur de chaleur	Application de chaleur sur la connexion
Nettoyage des surfaces	Étamage des surfaces

   4. _____

5. Dans le domaine du soudage, le terme *mèche de sécurité* correspond:

   A. à un tissu spécial torsadé utilisé comme support mécanique.
   B. à la tendance d'une soudure à remonter dans les torsades d'un fil chauffé.
   C. à la forme sous laquelle la soudure est couramment vendue.
   D. au remplissage des vides et des trous avec de la soudure.

   5. _____

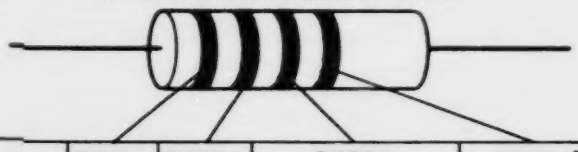
Réponses aux questions de l'exercice de contrôle 3

1. étain
   plomb
   à base de résine Section 26
2. En chauffant la connexion et non pas la soudure.
   Section 26
3. Faux Section 27
   (Les embouts de fers à souder doivent toujours être étamés pour éviter l'oxydation.)
4. Nettoyage des surfaces
   Étamage des surfaces
   Connexion physique des conducteurs
   Application de chaleur sur la connexion
   Application de la soudure sur la connexion
   Retrait du dissipateur thermique Sections 26, 29
5. *B.* à la tendance d'une soudure à remonter dans les torsades d'un fil chauffé Section 28

Annexe

CODE DE COULEUR DES RÉSISTANCES

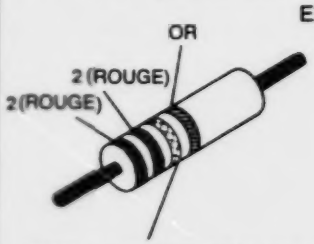
EN PARTANT DES BANDES DE GAUCHE



COULEUR	BANDE 1	BANDE 2	BANDE 3		BANDE 4*
	PREMIER CHIFFRE	DEUXIÈME CHIFFRE	NOMBRE DE ZÉROS		TOLÉRANCE
NOIR	0	0	NÉANT		
MARRON	1	1	UN	0	1%
ROUGE	2	2	DEUX	00	2%
ORANGE	3	3	TROIS	000	3%
JAUNE	4	4	QUATRE	0 000	4%
VERT	5	5	CINQ	00 000	
BLEU	6	6	SIX	000 000	
VIOLET	7	7	SEPT	0 000 000	
GRIS	8	8	HUIT		
BLANC	9	9	NEUF		
OR			MULTIPLICATEUR 0,1		5%
ARGENT			MULTIPLICATEUR 0,01		10%

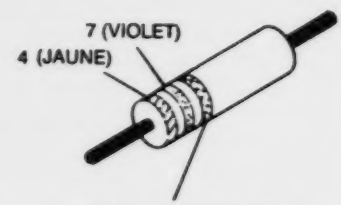
* Absence de quatrième bande = tolérance 20 %

EXEMPLES



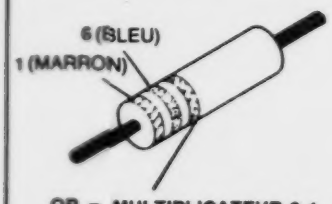
BLEU = 6 ZÉROS, SOIT 000 000

22 ET SIX ZÉROS
22 000 000 Ω
SOIT 22 MΩ, ±5 % DE TOLÉRANCE

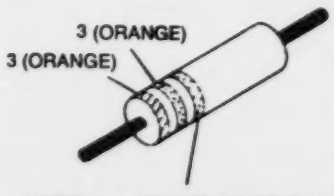


NOIR = PAS DE ZÉRO

47 ET AUCUN ZÉRO DONNE 47 Ω



OR = MULTIPLICATEUR 0,1
16 × 0,1 = 1,6 Ω

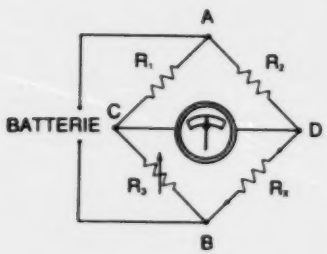


ARGENT = MULTIPLICATEUR 0,01
33 × 0,01 = 0,33 Ω

Examen personnel

Lisez attentivement chacune des phrases suivantes et assurez-vous que vous en comprenez bien le sens. Chaque phrase est suivie de quatre mots ou groupes de mots dont un seul est correct. Faites un X sur la lettre correspondant à votre réponse.

Les questions 1 et 2 reposent sur le montage en pont suivant



1. Le montage en pont est équilibré si

   A. $\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_x}{R_2}$ **C.** $\frac{R_1}{R_x} = \frac{R_2}{R_3}$

   B. $\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_x}$ **D.** $\frac{R_3}{R_1} = \frac{R_2}{R_x}$

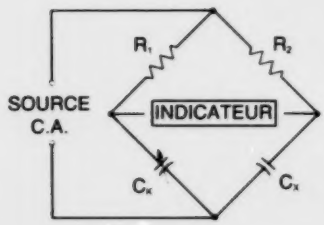
2. Lorsque le pont est équilibré, AUCUNE différence de potentiel n'existe entre les points:

   A. A et C. **C.** C et D.
   B. A et D. **D.** C et B.

3. La résistance de fuite d'un condensateur électrolytique doit être environ de:

   A. 5 kΩ **C.** 50 MΩ
   B. 0,5 MΩ **D.** 100 MΩ

4. Le pont de capacités suivant est équilibré si:



A. $\frac{C_X}{C_K} = \frac{R_1}{R_2}$ **B.** $\frac{C_K}{C_X} = \frac{R_1}{R_2}$ **C.** $\frac{C_X}{C_K} = \frac{R_2}{R_1}$ **D.** $\frac{C_X}{R_1} = \frac{R_2}{C_K}$

5. Parmi les phrases suivantes, quelle est celle qui s'applique à un condensateur ayant un coefficient de surtension très élevé?

A. Sa performance n'est pas très bonne.
B. Le rapport de la réactance capacitive sur la résistance en série est faible.
C. Il y a un taux de dissipation élevé.
D. Il y a un taux de dissipation faible.

6. Vous effectuez un essai sur une diode zener dans laquelle passe le courant nominal spécifié. Comme le courant fluctue au-delà et en-deçà de cette valeur nominale, la tension dans la diode zener doit:

A. augmenter lorsque le courant augmente et rester constante lorsque le courant diminue.
B. augmenter lorsque le courant augmente et diminuer lorsque le courant diminue
C. rester constante lorsque le courant augmente et diminuer lorsque le courant diminue.
D. rester constante, que le courant augmente ou diminue.

7. Supposez que vous identifiiez les broches d'un transistor à l'aide d'un ohmmètre. Des valeurs inférieures à 500 Ω sont affichées lorsqu'on est en présence:

A. d'une polarisation directe sur les jonctions émetteur-base et collecteur-base.
B. d'une polarisation inverse sur les jonctions émetteur-base et collecteur-base.
C. d'une polarisation directe sur les broches émetteur-collecteur.
D. d'une polarisation inverse sur les broches émetteur-collecteur.

8. Vous utilisez un ohmmètre pour détecter un court-circuit sur la jonction d'un transistor NPN. Vous devez raccorder la borne _____ sur _____ et faire deux relevés, l'autre borne étant raccordée à _____ et au collecteur.

A. positive, base, émetteur
B. positive, émetteur, base
C. négative, base, émetteur
D. négative, émetteur, base

9. Lorsque l'anode d'un redresseur au silicium est positive par rapport à la cathode, elle est en polarisation _____ et à l'état _____.

   A. directe, passant ou bloqué
   B. directe, passant
   C. inverse, passant ou bloqué
   D. inverse, bloqué

10. Lorsque vous soudez une connexion câblée, vous devez appliquer la soudure de telle manière qu'elle:

   A. recouvre les contours des fils.
   B. atteigne l'isolant des fils.
   C. présente une surface lisse et terne après séchage.
   D. s'étale jusque dans les joints de la connexion.

Vous trouverez les réponses à la page 311.

Appareils de vérification pour composants électroniques

BF0105

(Lexiques)

Français	Anglais
Ampèremètre	Ammeter
Banc d'essai	Test Board
Bande	Band
Bobine	Inductor
Bobine d'arrêt	Choke
Boitier	Case
Bras de proportion	Ratio Arm
Broche	Pin (Integrated Circuit)
Capacité parasite	Stray Capacitance
CI = circuit intégré	IC = Integrated Circuit
Circuit intégré à broches horizontales	Flat Pack In
Circuit intégré à double ligne	Dual in line IC
Code de couleur	Color Code
Coefficient de surtension (facteur *Q*)	*Q*-Factor
Condensateur au mica	Mica Capacitor
Condensateur au papier	Paper Capacitor
Connecteur	Connector
Convertisseur CC-CA (CC-CC)	Inverter
Courant anodique	Plate Current
Courant de blocage inversé	Reverse Blocking Current
Courant de coupure	Cut-Off Current
Déviation	Deflection
Dopage	Doping
Douille	Socket
Emballement thermique	Thermal Runaway
Encoche	Notch
Enroulement primaire	Primary Coil
Enroulement secondaire	Secondary Coil
Épissure	Splicing
Épissure en crochet	Hook Splice
Épissure en ruban	Tap Splice
Essai/vérification	Testing
Étamage	Tinning
État bloqué	Off State
État passant	On State
Fiche technique	Data Sheet
Fil guipé (tressé)	Braided Wire
Fil torsadé	Stranded Wire
Indicateur tout ou rien	Go-no go Indicator
Manuel de l'utilisateur	Operator's Manual
Marquage	Labelling
Montage en pont	Bridge Circuit
Ohmmètre	Ohmmeter
Panne	Failure

Anglais	Français
Alligator Clip	Pince crocodile
Ammeter	Ampèremètre
Antiwicking Tool	Tourne à gouche
Band	Bande
Braided Wire	Fil guipé (tressé)
Breakdown Voltage	Tension de claquage
Breakover Voltage	Tension d'amorçage
Bridge Circuit	Montage en pont
Case	Boitier
Chip	Puce
Choke	Bobine d'arrêt
Color Code	Code de couleur
Connector	Connecteur
Curve Tracer	Traceur de courbes
Cut-Off Current	Courant de coupure
Date Sheet	Fiche technique
Deflection	Déviation
Doping	Dopage
Dual in line IC	Circuit intégré à double ligne
Failure	Panne
Field Effect Transistor	Transistor à effet de champ (Fet)
Flag	Repère
Flat Pack In	Circuit intégré à broches horizontales
Forward Bias	Polarisation directe
Fuse Holder	Porte-fusible
Gate	Porte/Gâchette/Grille
General Purpose	Universel/Polyvalent
Go-no go indicator	Indicateur tout ou rien
Grid Voltage	Tension de grille
Hook Splice	Épissure en crochet
Ic = Integrated Circuit	CI = circuit intégré
Inductor	Bobine
Inverter	Convertisseur CC-CA (CC-CC)
Isolation Transformer	Transformateur d'isolation
Labelling	Marquage
Leakage Resistance	Résistance de fuite
Limit Voltage	Tension limite
Long-Nose Pliers	Pince à long bec
Mica Capacitor	Condensateur au mica
Notch	Encoche
Off State	État bloqué
Ohmmeter	Ohmmètre
On State	État passant
Operator's Manual	Manuel de l'utilisateur

Français	Anglais
Pince à long bec	Long-nose Pliers
Pince crocodile	Alligator Clip
Pince d'essai	Test Clip
Pinces fines	Tweezers
Plaque	Plate
Plaque de circuit imprimé	Printed Circuit Board (PCB)
Pointe de fer à souder	Soldering Iron Tip
Polarisation directe	Forward Bias
Polarisation inversée	Reverse Bias
Pore-fusible	Fuse Holder
Porte/Gâchette/Grille	Gate
Puce	Chip
Rapport de transformation	Turn Ratio
Redresseur commande au silicium	SCR
Repère	Flag
Résistance de fuite	Leakage Resistance
Soudage	Soldering
Soudure (alliage)	Solder
Table de vérité	Truth Table
Tension d'amorçage	Breakover Voltage
Tension de claquage	Breakdown Voltage
Tension de grille	Grid Voltage
Tension limite	Limit Voltage
Tolérance nominale	Tolerance Rating
Tourne à gouche	Antiwicking Tool
Traceur de courbes	Curve Tracer
Transformateur d'isolation	Isolation Transformer
Transistor à effet de champ (Fet)	Field Effect Transistor
Universel/Polyvalent	General Purpose

Anglais	Français
Paper Capacitor	Condensateur au papier
Pin (Integrated Circuit)	Broche
Plate	Plaque
Plate Current	Courant anodique
Primary Coil	Enroulement primaire
Printed Circuit Board (PCB)	Plaque de circuit imprimé
Q-Factor	Coefficient de surtension (facteur *Q*)
Ratio Arm	Bras de proportion
Reverse Bias	Polarisation inversée
Reverse Blocking Current	Courant de blocage inversé
SCR	Redresseur commande de silicium
Secondary Coil	Enroulement secondaire
Socket	Douille
Solder	Soudure (alliage)
Soldering	Soudage
Soldering Iron Tip	Pointe de fer à souder
Splicing	Épissure
Stranded Wire	Fil torsadé
Stray Capacitance	Capacité parasite
Tap Splice	Épisure en ruban
Test Board	Banc d'essai
Test Clip	Pince d'essai
Testing	Essai/vérification
Thermal Runaway	Emballement thermique
Tinning	Étamage
Tolerance Rating	Tolérance nominale
Truth Table	Table de vérité
Turn Ratio	Rapport de transformation
Tweezers	Pinces fines

Appareils de vérification numériques

BF0106

Appareils de vérification numériques

Objectifs d'enseignement

Le présent module a pour objet de vous familiariser avec les principes de base de la logique numérique et avec quelques appareils élémentaires servant à vérifier les systèmes numériques. Au fur et à mesure que le cours progressera, on vous expliquera le système numérique binaire et sa relation au système numérique décimal que nous utilisons chaque jour, pour faire la monnaie ou pour additionner les calories que nous absorbons, par exemple...

Vous verrez comment les systèmes numériques sont capables de prendre des décisions logiques, grâce aux circuits électroniques et au principe élémentaire de la mémoire. Enfin, on vous parlera des appareils de vérification élémentaires tels que sondes logiques et générateurs d'impulsions, pinces logiques pour circuits intégrés (CI) et analyseur logique qui est un appareil si précieux.

À la fin de ce module, vous devriez être en mesure:

- *De faire des conversions du système numérique décimal au système numérique binaire, octal et hexadécimal, et inversement.*
- *De reconnaître une porte logique et d'expliquer comment elle sert à prendre des décisions logiques.*
- *D'expliquer comment une bascule mémorise l'information.*
- *De décrire l'utilisation d'une sonde logique et d'une pince logique pour CI.*
- *D'expliquer les principales utilisations de l'oscilloscope et de l'analyseur numérique pour la vérification, les mesures et le dépannage des systèmes numériques.*

Table des matières

Introduction aux méthodes numériques

Représentation des grandeurs numériques 263
Le système décimal 265
Le système binaire 266
Comptage à l'aide des nombres binaires 267
Conversion du système binaire au système décimal et inversement 269
Système de numération octale 271
Conversion octale 272
Système de numération hexadécimale 273
Conversion hexadécimale 274
Exercice de contrôle 1 276

Introduction à la logique binaire

États passant-bloquant 278
Impulsions 279
Logique binaire 280
Portes logiques 280
Algèbre de Boole 281
Fonction OU 282
Portes OU 282
Fonction ET 283
Portes ET 284
Inversion, ou opération NON 285
Portes NON-OU (NI) 285
Portes NON ET 285
Bascules 286
Registres à décalage 287
Compteurs asynchrones 289
Diviseurs de fréquence 291
Exercice de contrôle 2 292

Vérifications logiques

Mode de vérification 294
Analyse des niveaux logiques et des impulsions 294
Sondes logiques 295
Sondes spéciales 296
Pinces logiques pour CI 296
Comparateurs logiques 298
Analyseurs logiques 299
Analyseurs logiques et oscilloscopes 299
Appareils de vérification numériques spéciaux 300
Exercice de contrôle 3 302

Examen personnel 304

Lexiques 306

Introduction aux méthodes numériques

1 Représentation des grandeurs numériques

Il existe deux moyens de représenter des grandeurs dans les systèmes électroniques: représentation analogique et représentation numérique. Dans le premier cas, une grandeur donnée est représentée par une autre grandeur qui est directement proportionnelle à la première. **Les grandeurs analogiques peuvent varier dans une gamme continue de valeurs.**

La représentation numérique, par ailleurs, fait appel à des symboles appelés *chiffres*, pour représenter des grandeurs. **Les grandeurs ne varient *pas* continuellement, mais elles changent par incréments.** Il existe plusieurs systèmes numériques, dont le système décimal que nous utilisons chaque jour, que ce soit pour compter des dollars ou des petits pains au chocolat.

La plupart des grandeurs sont généralement déterminées par une sorte d'indication continue, comme la position de l'aiguille sur un voltmètre, ou le niveau de colonne de mercure sur un thermomètre, ou encore la position des aiguilles d'une horloge. Pour reprendre l'exemple du voltmètre, il faut, pour déterminer la valeur exacte de la grandeur, lire les divisions de l'échelle de part et d'autre de l'aiguille, estimer la position de l'aiguille entre les divisions et, finalement, interpoler les valeurs pour déterminer la valeur numérique de la grandeur indiquée.

La précision de la valeur qu'on obtient par la lecture d'un instrument analogique dépend bien sûr de la qualité de l'instrument en question, comme de la compétence de l'opérateur. **L'indication numérique fournie par l'instrument permet à l'opérateur de faire une lecture plus précise.** La valeur de la grandeur est affichée directement sous forme de nombre, à savoir une série de chiffres pouvant être lus par l'opérateur, si bien qu'il n'est pas nécessaire d'interpréter l'affichage. Des exemples de correspondance entre des indi-

cations analogiques et numériques concernant des grandeurs de tension, de température et de temps sont montrés à la **figure 1.**

Les trois exemples illustrent tous la différence entre la représentation analogique et numérique. Prenons par exemple le voltmètre, représenté en haut de la figure: Thomas A. Edison en personne, dans ses meilleurs jours, aurait été incapable de lire avec exactitude l'indication analogique sur le cadran (pas même avec une exactitude relative). Mais la traduction numérique, à droite, donne les chiffres précis: 16,3 V (volts).

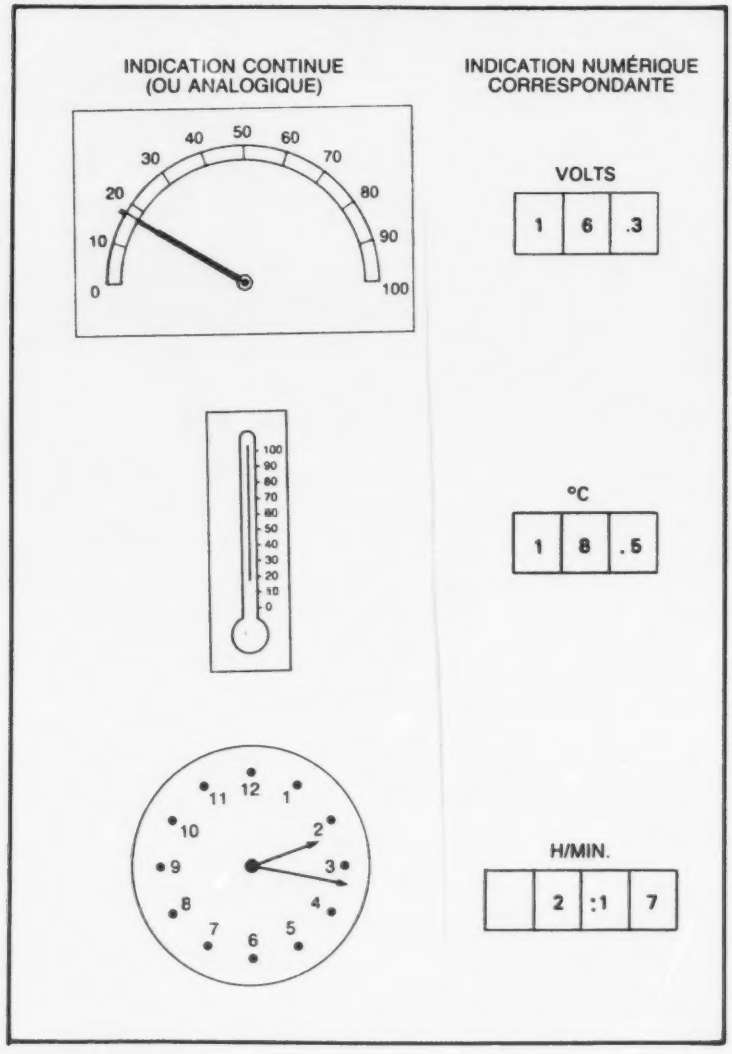


Fig. 1. À gauche se trouve l'indication analogique, et à droite, l'affichage numérique correspondant. Il est impossible de mal interpréter une indication numérique: la valeur de la grandeur est affichée sous la forme d'un nombre qui ne peut pas être mal lu.

2 Le système décimal

Le système décimal comprend 10 chiffres (ou symboles). Lorsqu'on utilise un, plusieurs ou les dix symboles en tant que chiffres d'un nombre, on peut exprimer n'importe quelle quantité numérique. Le système décimal est aussi parfois appelé système à *base 10*, comme vous l'avez appris en étudiant le système de notation scientifique.

La valeur d'un chiffre dans le système décimal dépend de sa position dans le nombre. Dans le nombre 963, par exemple, on dit que le chiffre neuf est dans la colonne des centaines et il représente neuf cents; le chiffre six est dans la colonne des dizaines et il représente 6 dizaines, c'est-à-dire soixante: et enfin, le chiffre trois est dans la colonne des unités et il représente trois unités. Le 9 est le chiffre qui a le plus de «poids» et c'est la raison pour laquelle on l'appelle *chiffre de poids fort*. Le chiffre 3 est celui qui a le moins de poids et on l'appelle donc *chiffre de poids faible*.

Dans le système décimal, on utilise la virgule décimale (,) pour séparer la partie entière de la partie décimale du nombre. Le nombre 542,35, par exemple, signifie cinq cents, plus quatre fois dix (40), plus deux unités, plus trois-dixièmes d'unités, plus cinq centièmes d'unités.

Les différentes positions dans le système décimal peuvent également être exprimées en puissances de dix, si l'on utilise la numération scientifique. Ici, la position du chiffre par rapport à la virgule décimale détermine la valeur de l'exposant. (Vous vous souviendrez que tout nombre à la puissance zéro est égal à 1.)

Dans le système décimal, la valeur de chaque chiffre dépend de sa position dans le nombre. La position indique la distance vers la gauche ou vers la droite qui sépare le chiffre de la virgule décimale: la virgule sépare la partie entière de la partie décimale du nombre.

$$10^5\ 10^4\ 10^3\ 10^2\ 10^1\ 10^0,\ 10^{-1}\ 10^{-2}\ 10^{-3}\ 10^{-4}\ 10^{-5}$$

$$5\quad 4\quad 2\ ,\ 3\quad 5$$

Le nombre 542,35 par conséquent peut être exprimé comme la somme de:

$$\begin{aligned}
5 \times 10^2 &= 5 \times 100 &&= 500,\\
4 \times 10^1 &= 4 \times 10 &&= 40,\\
2 \times 10^0 &= 2 \times 1 &&= 2,\\
3 \times 10^{-1} &= 3 \times 0{,}1 &&= 0{,}3\\
5 \times 10^{-2} &= 5 \times 0{,}01 &&= 0{,}05\\
&&&\overline{542{,}35}
\end{aligned}$$

Lorsque nous comptons dans le système décimal, nous commençons par zéro et nous comptons par unités (chiffres) jusqu'à 9. Nous ajoutons ensuite 1 (dizaine) et recommençons la même opération à partir de zéro. Lorsque nous arrivons à 9, nous retenons tou-

jours 1 dans la colonne suivante et nous recommençons à zéro: d'où les nombres 10, 11, 12, etc. Cette opération se poursuit jusque 99. Nous ajoutons ensuite 1 dans la colonne des centaines et nous recommençons à zéro pour les deux premières positions (extrême-droite): 100, 101, etc.

La position des unités est modifiée à chaque étape du calcul: la position des dizaines est modifiée au bout de dix additions: la position des centaines est modifiée au bout de cent additions, etc. Le principe est exactement le même que pour le kilométrage qui défile sur l'odomètre d'une voiture.

3 Le système binaire

Dans la mesure où il est très difficile de concevoir des dispositifs électroniques pouvant fonctionner à dix niveaux de tension différents, la plupart des ordinateurs et autres systèmes numériques reposent sur le système de numération binaire et non décimal. Dans le système binaire, il n'y a que deux symboles ou chiffres possibles: 0 et 1. Il est plus facile de fabriquer des commandes électroniques à deux états seulement: ouvert-fermé, haute tension-basse tension, en circuit-hors circuit, marche-arrêt. On peut assigner arbitrairement une valeur de 1 à l'une de ces positions et une valeur de 0 à l'autre position (si bien que la commande de marche-arrêt peut être prise comme exemple pour expliquer un chiffre binaire). Même s'il n'existe que deux symboles, ils peuvent être utilisés pour représenter n'importe quelle quantité pouvant être exprimée dans le système décimal ou dans tout autre système numérique.

Si le système binaire peut être utilisé pour représenter n'importe quelle quantité pouvant être exprimée dans notre système décimal, vous vous demandez peut-être: pourquoi ne pas utiliser le système binaire comme système de numération courant? La raison en est qu'il faut un plus grand nombre de chiffres binaires pour exprimer une grandeur donnée. Même si les règles de calcul élémentaires sont similaires dans le système binaire et décimal, il serait très peu commode et très long d'utiliser la méthode binaire dans la vie de tous les jours. Le simple fait de donner un numéro de téléphone ou un code postal demanderait des efforts considérables!

Comme notre système décimal courant, le système binaire est également un système de numération pondérée. Chaque chiffre binaire a une valeur pondérée mais, puisqu'il s'agit d'un système à *base 2*, cette valeur est exprimée comme une puissance de 2. La virgule décimale utilisée dans le système décimal devient, dans le système binaire, la virgule binaire.

$$2^5\ 2^4\ 2^3\ 2^2\ 2^1\ 2^0,\ 2^{-1}\ 2^{-2}\ 2^{-3}\ 2^{-4}\ 2^{-5}$$

Les valeurs placées à gauche de la virgule binaire sont des puissances positives de 2 et les valeurs placées à droite sont des puissances négatives de 2 (ou valeurs fractionnaires).

4 Comptage à l'aide des nombres binaires

Chaque chiffre est appelé élément binaire (ou bit)[1]. Puisqu'il n'existe que deux chiffres ou bits dans la numération de base 2, vous vous demandez peut-être comment on peut compter au-delà de 1. C'est parce qu'on procède, en substance, comme pour compter au-delà de 9 dans le système décimal, c'est-à-dire en reprenant à zéro après le 9 et en retenant 1 dans la colonne suivante. *Si l'on incrémente* (ou si l'on augmente) 9 de 1, on obtient alors 10.

Dans le système de base 2, on calcule par incrément de 1 de la manière suivante: 0, bien sûr est en première place, comme dans tous les systèmes de numération; vient ensuite 1. Puisque ce sont les deux seuls chiffres dont on dispose, on ne peut pas aller au-delà et c'est la raison pour laquelle on incrémente de 1. Le 1 se transforme donc en 0, avec une retenue de 1 dans la colonne placée à gauche du zéro, ce qui donne 10 (soit *un-zéro* dans le système binaire).

Note. *Lorsque vous comptez en binaire, il faut également penser et parler en binaire. On part toujours de un-zéro et de un-un, et jamais de «dix» ou de «onze», qui sont des concepts décimaux inconnus dans le système binaire.*

On peut maintenant incrémenter de 1 la première colonne (de droite), ce qui donne 11 (*un-un*).

Si l'on continue d'incrémenter, 0 passe dans la première colonne; si l'on retient 1 dans la seconde colonne, celle-ci devient 0, avec une retenue dans la troisième colonne, et on obtient 100 (Avez-vous pensé à lire cette valeur comme «*un zéro-zéro*»?)

En incrémentant la première colonne, on obtient 101.

Si l'on incrémente de nouveau, la première colonne devient 0, avec une retenue de 1 dans la deuxième colonne, qui devient 1, ce qui donne 110.

Si l'on incrémente la première colonne, on obtient 111 (*un-un-un*).

Comme toujours, vous devez commencer par incrémenter la colonne placée à l'extrême droite. Résultat: 0 et une retenue. La deuxième colonne devient 0, avec une retenue. La troisième colonne devient 0, avec une retenue dans la quatrième colonne. Résultat obtenu: 1000.

1. Dans le présent manuel, «bit» sera employé pour des raisons de simplicité.

Vous devez maintenant être capable de continuer seul. On a ensuite 1001. Puis 1010, 1011, 1100, 1101, 1110 et enfin 1111.

Bien sûr, on n'est pas obligé de s'arrêter là. Le tableau 1 donne des nombres binaires et leurs équivalents décimaux. Avec les ordinateurs numériques, on peut avoir des nombres binaires aussi grands que 1111111111111111 (16 chiffres binaires ou bits). La numération peut aller jusqu'à 32 bits, soit l'équivalent d'un nombre décimal supérieur à 4 milliards.

TABLEAU 1

Nombres binaires et leurs équivalents décimaux (jusqu'à 63)

Binaire	Décimal	Binaire	Décimal
0	0	100000	32
1	1	100001	33
10	2	100010	34
11	3	100011	35
100	4	100100	36
101	5	100101	37
110	6	100110	38
111	7	100111	39
1000	8	101000	40
1001	9	101001	41
1010	10	101010	42
1011	11	101011	43
1100	12	101100	44
1101	13	101101	45
1110	14	101110	46
1111	15	101111	47
10000	16	110000	48
10001	17	110001	49
10010	18	110010	50
10011	19	110011	51
10100	20	110100	52
10101	21	110101	53
10110	22	110110	54
10111	23	110111	55
11000	24	111000	56
11001	25	111001	57
11010	26	111010	58
11011	27	111011	59
11100	28	111100	60
11101	29	111101	61
11110	30	111110	62
11111	31	111111	63

Ces nombres sont souvent utilisés pour représenter des codes plutôt que des nombres réels. Par exemple, les nombres binaires peuvent représenter, en dehors des données numériques réelles, un emplacement ou une adresse de la mémoire de l'ordinateur. Ils peuvent représenter des caractères alphabétiques ou autres caractères non numériques, ou correspondre à un code spécial qui renseigne l'ordinateur sur l'état d'un périphérique, une imprimante, par exemple, ou un terminal connecté à l'ordinateur.

5 Conversion du système binaire au système décimal et inversement

Dans la numération binaire, chaque position de bit, en allant vers la gauche, à partir de la première position, représente un accroissement de la puissance de 2.

Vous savez, d'après vos notions de base en arithmétique, que la puissance d'un nombre désigne le nombre de fois que le nombre est multiplié par lui-même. La puissance est indiquée dans l'exposant. Par exemple, 2^2 est égal à 2 multiplié par lui-même, $2 \times 2 = 4$; 2^3 est égal à 2 multiplié par lui-même deux fois, $2 \times 2 \times 2 = 8$; et caetera. Vous trouverez au tableau 2 la liste des puissances de 2 pour des exposants allant de 0 à 15. Vous constaterez que 2 à la puissance zéro (0) est égal 1 et que 2 à la puissance 1 est égal à 2.

TABLEAU 2

Puissances de 2

Exposant de 2	Valeur décimale	Position binaire
0	1	1
1	2	10
2	4	100
3	8	1000
4	16	1 0000
5	32	10 0000
6	64	100 0000
7	128	1000 0000
8	256	1 0000 0000
9	512	10 0000 0000
10	1 024	100 0000 0000
11	2 048	1000 0000 0000
12	4 096	1 0000 0000 0000
13	8 192	10 0000 0000 0000
14	16 384	100 0000 0000 0000
15	32 768	1 0000 0000 0000 0000

D'après ces principes, vous pouvez convertir (changer) des nombres binaires en nombres décimaux, et vice versa. Prenons l'exemple du nombre binaire 1111. La quatrième position équivaut à 2^3, soit 8 en système décimal: la troisième à 2^2, soit 4; la deuxième, à 2^1, soit 2; et la première à 2^0, soit 1. Ainsi, le nombre binaire 1111 équivaut au nombre décimal 8, plus 4, plus 2, plus 1, soit 15 (système décimal).

$$\begin{aligned} 1 \times 2^3 &= 8 \\ 1 \times 2^2 &= 4 \\ 1 \times 2^1 &= 2 \\ 1 \times 2^0 &= 1 \\ &\overline{15} \end{aligned}$$

Le moyen le plus simple de convertir un nombre entier décimal en un nombre entier binaire est de toujours diviser par 2, en notant à chaque fois le reste. Les restes ainsi obtenus sont les chiffres binaires, du bit de poids faible au bit de poids fort. Nous allons maintenant convertir le nombre décimal 742, en son équivalent binaire, en appliquant la méthode de la division répétée:

$$\frac{742}{2} = 371 + \text{reste } 0 \text{ (bit de poids faible)}$$

$$\frac{371}{2} = 185 + \text{reste } 1$$

$$\frac{185}{2} = 92 + \text{reste } 1$$

$$\frac{92}{2} = 46 + \text{reste } 0$$

$$\frac{46}{2} = 23 + \text{reste } 0$$

$$\frac{23}{2} = 11 + \text{reste } 1$$

$$\frac{11}{2} = 5 + \text{reste } 1$$

$\frac{5}{2}$ = 2 + reste 1

$\frac{2}{2}$ = 1 + reste 0

$\frac{1}{2}$ = 0 + reste 1 (bit de poids fort)

Lorsqu'on lit le nombre binaire du bit de poids fort au bit de poids faible, on obtient le nombre décimal 742 (soit 1011100110).

Même si les circuits numériques d'un appareil électronique, comme un ordinateur, ne fonctionnent qu'avec des nombres binaires, il est parfois plus commode et plus rapide pour les opérateurs de travailler dans un système de numération intermédiaire (plutôt que de convertir directement les nombres du système décimal au système binaire).

6 Système de numération octale

Les grands nombres binaires sont formés par de longues chaînes de 0 et de 1 qui peuvent être difficiles à interpréter et à manier. Imaginez par exemple que vous devez déterminer la valeur d'un grand nombre binaire de 12 bits comme 111101101100. Il arrive également que l'ingénieur, le technicien, l'électricien ou le programmeur aient à manier directement des nombres binaires de cette grandeur. Les nombres octaux (à base 8) sont un moyen commode lorsqu'on doit représenter un nombre binaire sous une forme facile à comprendre et à mémoriser, puisqu'ils utilisent huit chiffres: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 et 7.

La numération octale est possible du fait qu'un groupe binaire de 3 bits correspond en réalité à un nombre binaire à base 8. La valeur minimale d'un groupe binaire à 3 bits et 000, ce qui correspond au chiffre décimal 0. La valeur maximale d'une groupe binaire de trois bits et de 111, ce qui correspond au chiffre décimal 7. Par conséquent, un groupe binaire de trois bits est un groupe ou un système à base 8. Le système à base 8 (ou système octal) utilise les chiffres 0, 1, 2, 3, 4, 5, et 7 de la même manière que le système décimal.

7 Conversion octale

Pour trouver la valeur octale d'un nombre binaire, il faut commencer par l'extrême-droite du nombre binaire; regrouper trois bits à la fois, en allant vers la gauche, puis remplacer chaque groupe par des nombres octaux de 0 à 7. Chaque groupe binaire correspondant 000 - 111 donne la valeur octale du nombre binaire. Par exemple, pour convertir le nombre binaire de 12 bits 111101101100 en nombre octal, il faut d'abord réécrire le nombre en groupe de trois chiffres, puis inscrire sous chaque groupe les équivalents octaux:

$$\begin{array}{cccc} 111 & 101 & 101 & 100 \\ 7 & 5 & 5 & 4 \end{array}$$

Le nombre octal à quatre chiffres 7554 est de toute évidence beaucoup plus facile à reconnaître et à écrire que la longue chaîne de 1 et de 0 que nous avions au départ.

Pour trouver l'équivalent décimal du nombre binaire à 12 bits précité, vous devez effectuer un nombre de calculs beaucoup plus grand puisque le nombre binaire comporte trois fois plus de chiffres:

$$\begin{aligned} 7554 &= (7 \times 8^3) + (5 \times 8^2) + (5 \times 8^1) + (4 \times 8^0) \\ &= (7 \times 512) + (5 \times 64) + (5 \times 8) + (4 \times 1) \\ &= 3584 + 320 + 40 + 4 \\ &= 3948 \end{aligned}$$

Si vous voulez l'équivalent décimal directement à partir du nombre *binaire* à 12 bits, vous devez effectuer un nombre de calculs beaucoup plus grand, puisque le nombre binaire comporte trois fois plus de chiffres.

Supposons que nous ayons à convertir un nombre décimal en un nombre octal. Dans ce cas, nous diviserions progressivement le nombre décimal par 8, en notant les retenues après chaque division. Les retenues sont les chiffres du nombre octal.

$$\frac{3948}{8} = 493 + \text{retenue 4 (chiffre de poids faible)}$$

$$\frac{493}{8} = 61 + \text{retenue 5}$$

$$\frac{61}{8} = \quad 7 + \text{retenue } 5$$

$$\frac{7}{8} = 0 + \text{retenue } 7 \text{ (chiffre de poids fort)}$$

Si l'on compose le nombre octal en allant du chiffre de poids le plus fort au chiffre de poids le plus faible, on obtient 7554. Pour convertir du système décimal au système octal, la première retenue est le chiffre de poids le plus faible, la deuxième retenue est le chiffre de poids le plus faible suivant, etc., jusqu'au chiffre de poids le plus fort (dernière retenue).

La conversion du système octal au système binaire se fait chiffre par chiffre, en remplaçant chaque chiffre octal par le code binaire de trois bits correspondant; ainsi la conversion est exactement l'inverse de la conversion du binaire à l'octal. Les nombres octaux sont généralement utilisés sur des machines binaires où le nombre de bits dans le mot est un multiple de 3. Par conséquent, la représentation octale est généralement utilisée pour des mots binaires dans les configurations courantes 3−, 6−, 12−, 18−, 24−, 36−, 48− et 60− bits.

8 Système de numération hexadécimale

Certains ordinateurs utilisent le système de numération hexadécimal. Ce système fonctionne par groupe de *quatre bits* et non de trois, comme dans le système octal.

Le système hexadécimal est à base 16. Les seize chiffres sont 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E et F.

Le système hexadécimal a également une numération pondérée, en utilisant les puissances de 16. On convertit un nombre hexadécimal en nombre décimal exactement comme un nombre binaire ou octal: on multiplie d'abord le chiffre par sa valeur pondérée et on ajoute ensuite les résultats pour obtenir le nombre décimal.

Ce qui est parfois difficile dans ce système, c'est qu'il faut se rappeler que les caractères alphabétiques représentent des chiffres. Le A correspond à 10 dans le système décimal de base 10; le B cor-

respond à 11, etc. Vous trouverez au tableau 3, la liste des chiffres hexadécimaux avec leurs équivalents binaires et décimaux. Comme dans le système octal, pour convertir un nombre hexadécimal en nombre binaire, il faut convertir chaque chiffre individuellement. Mais ce système fonctionne par groupes de 4 bits et non de 3.

Pour que la représentation hexadécimale soit effective, il faut remplacer un groupe binaire complet de 4 bits par un seul symbole. Par exemple, le nombre 1100, soit 12 dans le système décimal, est remplacé par un seul symbole, la lettre C. Donc, il faut s'habituer à un système de numération à 16 symboles (au lieu de 8 ou de 10), comprenant six nouveaux symboles de numération, A à F, qui correspondent aux valeurs comprises entre 1010 et 1111 (10 à 15 en décimal) dans le groupe à 4 bits.

TABLEAU 3

Numération décimale, hexadécimale et binaire

Décimale	Hexa-décimale	Binaire	Décimale	Hexa-décimale	Binaire
0	0	0000	8	8	1000
1	1	0001	9	9	1001
2	2	0010	10	A	1010
3	3	0011	11	B	1011
4	4	0100	12	C	1100
5	5	0101	13	D	1101
6	6	0110	14	E	1110
7	7	0111	15	F	1111

9 Conversion hexadécimale

On trouvera au tableau 3 les représentations binaires et hexadécimales des chiffres décimaux allant de 0 à 15. Pour convertir un nombre binaire en nombre hexadécimal, il faut procéder étape par étape:

Étape 1. Diviser le nombre en groupes de quatre chiffres binaires, en commençant à droite.

Étape 2. Remplacer chaque groupe par le symbole hexadécimal correspondant.

Pour convertir l'hexadécimal en binaire, il faut remplacer chaque chiffre hexadécimal par son symbole binaire de 4 bits correspondant. Nous allons par exemple essayer de convertir le nombre 0110110110001111 en nombre hexadécimal.

Suivre d'abord l'étape 1. Diviser le nombre en groupes de quatre chiffres binaires, en commençant par la droite:

0110 1101 1000 1111

Puis, suivre l'étape 2. En se reportant au tableau 2, remplacer chaque groupe par le symbole hexadécimal correspondant:

0110 = 6
1101 = D
1000 = 8
1111 = F

On obtient ainsi 6D8F

Pour continuer sur votre lancée, vous allez maintenant convertir 3CF2 de l'hexadécimal en binaire.

En vous reportant au tableau, 3, vous allez remplacer chaque chiffre hexadécimal par son symbole binaire de 4 bits correspondant:

3 = 0011
C = 1100
F = 1111
2 = 0010

Vous obtiendrez ainsi le nombre 0011110011110010.

Exercice de contrôle 1

Faites une pause pour revoir quelques points-clés sur l'introduction aux méthodes numériques. Maintenant répondez aux questions suivantes. Vérifiez vos réponses et si elles sont différentes des nôtres vous trouverez l'explication à la section donnée à chaque réponse.

Vos réponses

1. Vrai ou faux? Une valeur numérique varie sur une échelle continue et on doit interpoler la valeur numérique.

   1. Vrai Faux
   (Encerclez la bonne réponse)

2. Dans le nombre 2537, le chiffre de poids fort est:

   A. 7 *C.* 3
   B. 5 *D.* 2

   2. _____

3. Le système de numération binaire est un système à base _____.

   3. _____

4. Le nombre binaire 111101 est égal à _____ dans le système décimal.

   4. _____

5. Convertir le nombre décimal 645 en nombre binaire.

   5. _____

6. Convertir le nombre binaire de 12 bits 101101101100 en son équivalent octal.

   6. _____

7. Lorsque vous voyez une combinaison de lettres et de chiffres, vous avez sans doute affaire au système de numération _____.

   7. _____

Réponses aux questions de l'exercice de contrôle 1

1. Faux — Section 1
   (Une valeur numérique NE VARIE PAS sur une échelle continue, mais par étapes successives. Les symboles appelés *chiffres* représentent des valeurs numériques.)
2. D.2 — Section 2
3. 2 — Section 3
4. 61 — Tableau 1
   (Il faut compter par incréments:
   $1 \times 2^5 = 32$
   $1 \times 2^4 = 16$
   $1 \times 2^3 = 8$
   $1 \times 2^2 = 4$
   $1 \times 2^1 = 0$
   $1 \times 2^0 = 1$
   61)
5. 101000101 — Section 5
   $\left(\frac{645}{2} = 322 + \text{reste } 1 \text{ (bit de poids faible)}\right.$

   $\frac{322}{2} = 161 + \text{reste } 0$

   $\frac{161}{2} = 80 + \text{reste } 1$

   $\frac{80}{2} = 40 + \text{reste } 0$

   $\frac{40}{2} = 20 + \text{reste } 0$

   $\frac{20}{2} = 10 + \text{reste } 0$

   $\frac{10}{2} = 5 + \text{reste } 0$

   $\frac{5}{2} = 2 + \text{reste } 1$

   $\frac{2}{2} = 1 + \text{reste } 0$

   $\frac{1}{2} = 0 + \text{reste } 1 \text{ (bit de poids fort)}$
6. 5554 — Sections 6 et 7

5	5	5	4
101	101	101	100
binaire			octal

7. hexadécimal — Section 8

Introduction à la logique binaire

10 États passant-bloquant

Du fait que les grandeurs binaires sont exprimées avec deux chiffres seulement, elles peuvent être représentées par tout dispositif ayant seulement deux états ou conditions de fonctionnement. Un interrupteur à deux positions (ouverte ou fermée) peut être utilisé pour représenter les deux nombres binaires: un interrupteur ouvert peut représenter le nombre binaire 0 et un interrupteur fermé, le nombre binaire 1. Avec ce type d'interrupteur, on n'obtiendrait qu'une seule valeur pondérée; avec deux interrupteurs, deux valeurs pondérées; avec trois interrupteurs, trois valeurs pondérées, etc. Il en est de même pour d'autres dispositifs, comme les ampoules électriques (allumées ou éteintes); les diodes (conductrices ou non); les relais (excités ou non); les transistors (bloqués ou saturés); et les bandes magnétiques (magnétisées ou démagnétisées). On peut utiliser les positions de ces appareils à deux états pour représenter des nombres binaires.

Dans les systèmes numériques électroniques, l'information binaire est représentée par les tensions et les courants d'entrée et de sortie des différents circuits. Les chiffres binaires 0 et 1 sont représentés par des niveaux de tension. Par exemple, 0 V peut représenter le chiffre binaire 0 et + 5 V peut représenter le chiffre binaire 1. Dans la réalité, on utilise deux gammes de tension (avec une plage entre les deux, qui n'est pas utilisée), si bien que la valeur exacte d'une tension n'est pas aussi importante que dans un système analogique. Cela explique qu'il est plus facile de concevoir des circuits numériques qui fonctionnent avec précision.

Par exemple, on peut représenter le chiffre binaire 1 par une tension nominale de +5 V. Mais supposons que la gamme de tension pour le chiffre binaire 1 soit comprise entre 2 V et 5,5 V. En d'autres termes, qu'une tension de 3 V ou de 4,5 V soit appliquée, cela ne fait aucune différence pour l'appareil considéré. Ces deux tensions seraient lues, dans le système binaire, par le chiffre 1, puisqu'elles sont toutes deux comprises dans la gamme de tension du chiffre binaire 1. De même, le chiffre binaire 0 peut être représenté par une tension nominale de 0 V; cependant, la gamme de ten-

sion pour le chiffre binaire 0 peut varier entre 0 V et 0,8 V. Par conséquent, l'appareil affichera toute tension comprise entre 0 et 0,8 V sous la forme du chiffre binaire 0. La plage comprise entre 0,8 V et 2 V n'est pas utilisée.

11 Impulsions

L'information binaire est transmise à très grande vitesse. L'impulsion logique de la **figure 2**(*a*) représente un signal qui commence

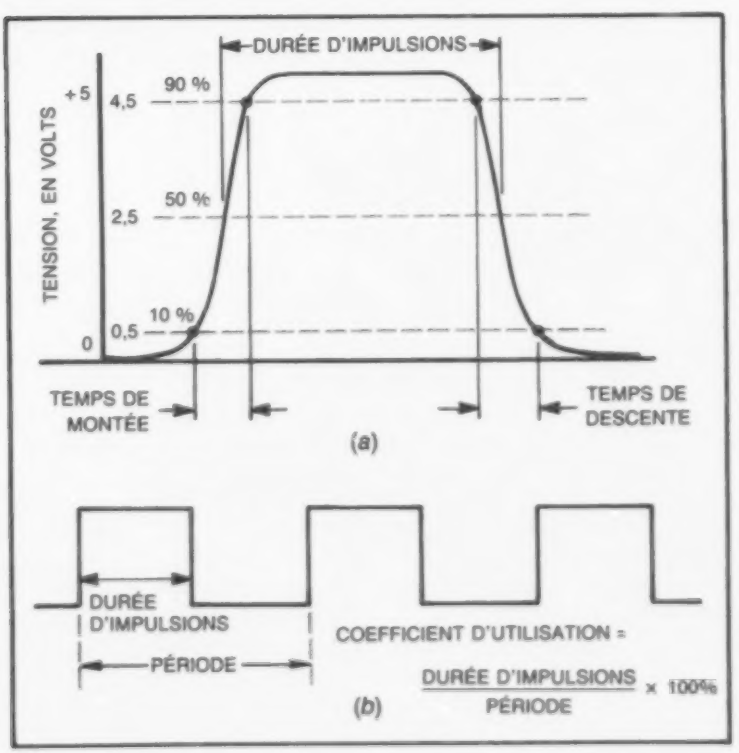


Fig. 2. Les caractéristiques d'impulsions doivent être prises en considération au niveau de la conception des circuits électroniques lorsqu'on veut que les informations numériques soient transmises à très grande vitesse. Ce n'est qu'à cette condition que les opérations seront effectuées dans l'ordre ou la séquence corrects.

à 0 V (0 en binaire) et grimpe rapidement à +5 V (1 en binaire), reste à ce niveau pendant une période déterminée, puis revient rapidement à 0 V. Le temps de montée de l'impulsion est le temps nécessaire pour que le signal monte de 10 % à 90 % de sa valeur maximale. Le temps de descente est le même que le temps de montée, mais pour la partie descendante de l'impulsion: c'est le temps nécessaire pour que le signal descende de 90 % à 10 % de sa valeur maximale. La durée d'impulsions, qu'on appelait auparavant longueur ou largeur d'impulsions, est définie comme la période de temps comprise entre les points 50 %, situés sur les bords ascendant et descendant de l'impulsion.

Dans de nombreux cas, on utilise un train d'impulsions logiques répétitives comme dans un signal d'horloge (de synchronisation) par exemple (fig. 2 (b)). Le nombre d'impulsions par seconde est appelé fréquence de répétition des impulsions (qui s'exprime en impulsions par seconde)

La durée qui s'écoule entre les bords ascendants des impulsions successives (appelée période) représente la longueur d'un cycle du signal. Le facteur cyclique d'un train d'impulsions répétitives est le rapport de la durée du niveau logique 1 sur la période, exprimé en pourcentage. Si la forme d'onde d'une impulsion a une période de 4 µsec (microsecondes) et si la durée d'une impulsion est de 1 µsec, le coefficient d'utilisations (rapport cyclique) est de 25 %. Une impulsion ayant un coefficient d'utilisation de 50 % est appelée onde carrée (symétrique).

12 Logique binaire

Dans un système numérique, les signaux électroniques servent à prendre ce qu'on appelle des «décisions logiques». Comment, vous demanderez-vous, une machine peut-elle prendre des décisions? Les individus décident de faire (ou de ne pas faire) quelque chose sur la base d'un choix et ce choix dépend d'un ou de plusieurs facteurs. Les décisions électroniques sont également des choix qui dépendent d'un ou de plusieurs facteurs. Par exemple, une alarme sonore peut se déclencher si la température ou la pression d'un instrument dépasse un certain seuil. Par ailleurs, certaines pompes ne démarrent que si un transducteur les informe que la substance à pomper est présente *et* que la porte est fermée *et* que la touche est enfoncée. Dans ce cas, si la porte était ouverte, l'opérateur pourrait enfoncer la touche avant que les vaches ne rentrent à la ferme, pour essayer de mettre la pompe en marche, mais en vain, parce que trois signaux sont indispensables pour activer la pompe.

13 Portes logiques

Les facteurs (ou entrées) sur la base desquels les décisions sont prises dans un système numérique sont des signaux électroniques qui sont envoyés dans des *circuits logiques*. La configuration des circuits logiques permet de fournir des données de sortie sur la base de certaines combinaisons d'entrée. Ces circuits sont appelés *portes logiques*.

Dans les systèmes numériques, le délai entre l'entrée et la sortie d'un circuit devient un facteur important. Lorsque l'entrée d'un

circuit change, il s'écoule toujours un certain délai avant que la sortie ne change elle aussi. Ce délai est ce qu'on appelle le délai de propagation.

Il existe trois configurations logiques de base: la porte OU, la porte ET la porte NON. Mais avant d'aborder dans le détail chacune de ces configurations, examinons brièvement les règles logiques sur la base desquelles les circuits logiques sont conçus.

14 Algèbre de Boole

Vous avez peut-être entendu parler de l'algèbre de Boole en vous demandant ce que c'était. Eh bien, c'est un outil mathématique qui sert à concevoir des circuits et des systèmes numériques. Comme l'algèbre classique, c'est un système de règles; mais l'algèbre de Boole est en général plus facile à comprendre que l'algèbre classique. Bien qu'une explication complète de l'algèbre de Boole n'entre pas dans le cadre de ce cours, nous examinerons néanmoins certaines règles qui s'appliquent aux portes OU, ET et NON.

Dans l'algèbre de Boole, les constantes et les variables ne peuvent avoir que deux valeurs: 0 et 1. Ces variables sont souvent utilisées pour représenter un niveau de tension présent aux bornes d'entrée ou de sortie d'un circuit (ou d'un appareil). De même que nous avions dit précédemment que le chiffre binaire 1 pouvait être assigné à la gamme de tension comprise entre 2 V et 5 V et que le chiffre binaire 0 pouvait être assigné à la gamme de tension comprise entre 0 et 0,8 V, ces mêmes gammes peuvent être utilisées dans l'algèbre de Boole. Ainsi, les nombres ne représentent pas des valeurs réelles, mais plutôt l'état de la tension, ou ce qu'on appelle son *niveau logique*.

Dans un circuit numérique, on dit que la tension est soit au niveau logique 0, soit au niveau logique 1, en fonction de sa valeur. Ces termes sont parfois ainsi remplacés par d'autres:

Niveau logique 0	*Niveau logique 1*
Faux	Vrai
Arrêt	Marche
Faible	Élevé
Non	Oui
Ouvert	Fermé

Comme nous l'avons déjà dit, il existe trois opérations logiques de base dans l'algèbre de Boole. La première dont nous parlerons est l'addition logique, ou fonction *OU*. Le symbole de cette opération est le signe +.

15 Fonction OU

Supposons que A et B représentent deux variables logiques indépendantes. Lorsqu'on combine A et B, le résultat — X — est exprimé sous la forme suivante:

$$X = A + B$$

Les règles de cette addition sont:

A	B	$X = A + B$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

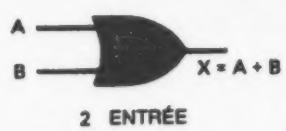
Les règles sont les mêmes que celles qui s'appliquent à toute addition normale, si ce n'est que 1 + 1 n'est pas égal à 2, mais 1. La raison en est (vous vous en souviendrez) que 2 n'existe pas: les deux seules valeurs possibles sont 1 et 0. Nous obtiendrons les mêmes résultats pour $X = A + B + C$. Si $A = 1$, $B = 1$ et $C = 1$, on obtient alors:

$$X = 1 + 1 + 1 = 1$$

Avec la fonction OU, le résultat obtenu est égal à 1, si une ou plusieurs variables sont égales à 1. Le tableau représenté ci-dessus est ce qu'on appelle la *table de vérité*. (Le terme est tiré de la logique mathématique, où l'on utilise «vrai» et «faux» au lieu de 0 et de 1.) L'équation $X = A + B$ **doit** se lire de la manière suivante: X **égale** A **ou** B. Vous vous souviendrez que le signe + correspond à une fonction OU, et non pas à une addition normale.

16 Portes OU

Une porte OU est un circuit à deux ou plusieurs entrées, dont la sortie est égale à la fonction OU des entrées. La **figure 3** montre des portes OU à deux et trois entrées, avec leur table de vérité respective. Les entrées A et B sont les niveaux logiques de tension, et la sortie X est un niveau logique dont la valeur est le résultat de la fonction OU de A et de B. La porte OU a une sortie de niveau haut (logique 1) si l'une des entrées ou les deux correspondent à un niveau haut (logique 1). La sortie de la porte OU n'est basse (logique 0) que si toutes les entrées sont au niveau logique 0.



2 ENTRÉE

A	B	X = A + B
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

TABLE DE VÉRITÉ

A	B	C	X = A + B + C
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

TABLE DE VÉRITÉ

Fig. 3. Une porte OU a deux ou plusieurs entrées et une seule sortie, toutes ayant l'un des deux états, 0 ou 1. Une porte OU sert à prendre une décision logique, toutes les fois qu'une entrée au moins est à un niveau haut.

Souvenez-vous que:

1. L'opération OU donne un résultat 1 lorsque l'une quelconque des variables d'entrée est égale à 1.
2. L'opération OU ne donne un résultat 0 que si *toutes* les variables d'entrée sont égales à 0.
3. Dans la fonction OU, par conséquent, 1 + 1 = 1; 1 + 1 + 1 = 1; etc.

17 Fonction ET

Si l'on combine deux variables logiques A et B en effectuant une fonction ET, le résultat X est égal à:

$$X = A \bullet B$$

Le signe • représente la fonction ET dans l'algèbre de Boole. Les règles de cette fonction sont données dans la table de vérité suivante:

A	B	$X = A \bullet B$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Les règles de la fonction ET sont exactement les mêmes que celles d'une multiplication normale. En conséquence, le résultat de cette opération sera égal à 1 si, *et seulement si*, toutes les entrées sont égales à 1. Dans tous les autres cas, le résultat est égal à 0. Enfin l'expression X = A • B se lit comme suit: $X = A$ et B.

18 Portes ET

Une porte ET est un circuit à deux ou plusieurs entrées, dont la sortie est égale à la fonction ET des entrées logiques, à savoir; X = A • B. Une porte ET est un circuit dont la sortie n'est au niveau haut que si toutes les entrées sont à 1. Dans tous les autres cas, la sortie d'une porte ET est basse, quel que soit le nombre d'entrées.

La **figure 4** montre des portes ET à deux et trois entrées, avec leur table de vérité correspondante.

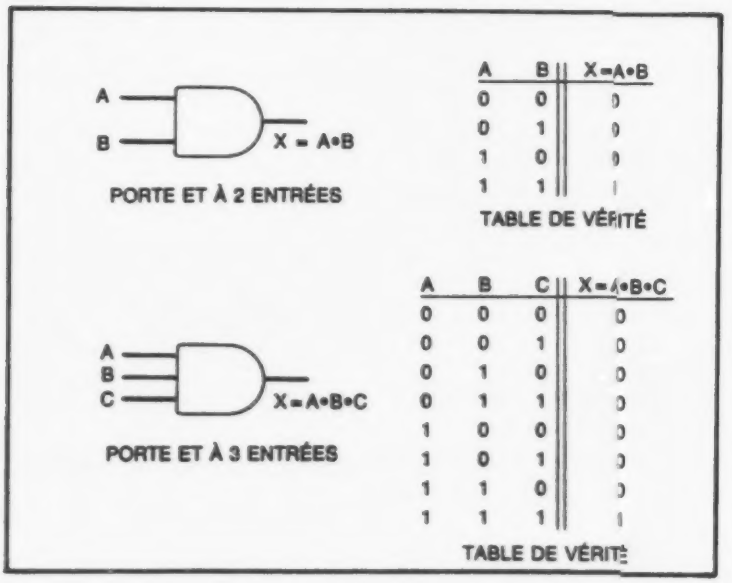


Fig. 4. Comme la porte OU, la porte ET a plusieurs entrées et une seule sortie. Cependant, le circuit est configuré de telle manière que la sortie n'est égale à 1 que si toutes les entrées sont égales à 1. On verra que la porte ET sert à prendre une décision logique lorsque toutes les entrées sont à 1 simultanément.

Vous vous souviendrez que:

1. l'opération ET est semblable à la multiplication normale de 1 et de 0.
2. on obtient une sortie 1 lorsque toutes les entrées sont égales à 1.
3. la sortie est égale à 0 lorsque l'une quelconque des entrées est égale à 0.

19 Inversion ou opération NON

L'opération NON est symbolisée par une barre placée au-dessus de la variable à inverser. Par exemple:

$$X = \overline{A}$$

signifie que X est égal à l'inverse (opposé) de A. Parfois, la barre qui symbolise l'opération NON est remplacée par un prime (′). Donc: $A' = \overline{A}$.

La table de vérité pour l'opération NON est la suivante:

A	$X = \overline{A}$
0	1
1	0

En d'autres termes, l'opération NON fait que la variable prend une valeur inverse, ou opposée.

Un circuit NON n'a qu'une seule entrée et le niveau logique de sortie est l'opposé du niveau logique d'entrée. Les circuits NON sont également appelés *inverseurs*. La **figure 5** montre le symbole du circuit NON et la table de vérité correspondante.

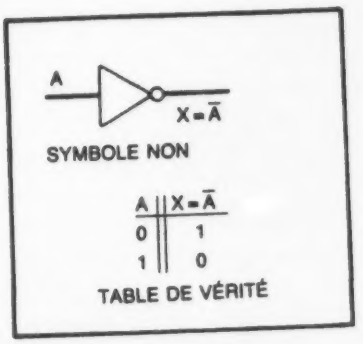


Fig. 5. Un circuit NON, ou *inverseur*, n'a qu'une seule entrée. Le niveau logique de sortie est l'opposé du niveau logique d'entrée.

20 Portes NON-OU (NI)

Une porte NON-OU (NI) combine la logique d'une porte OU et l'opération NON. La porte NON-OU effectue d'abord l'opération OU sur les entrées, puis l'opération NON sur la somme. Le symbole et la table de vérité d'une porte NON-OU sont montrés à la **figure 6.** Vous remarquerez le petit cercle, qui représente l'opération NON, ou inversion. Comme vous pouvez le constater d'après la table de vérité, la sortie NON-OU est l'inverse, ou l'opposé, de la sortie OU. La sortie d'une porte OU est à 1 lorsque l'une quelconque des entrées est à 1, mais la sortie d'une porte NI est basse lorsque l'une quelconque des entrées est basse.

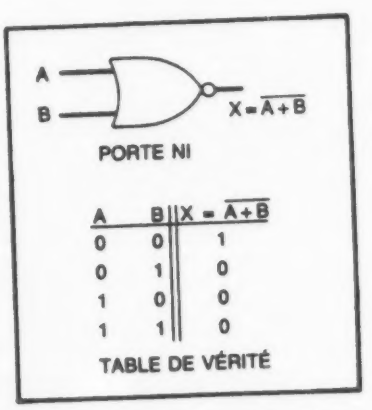
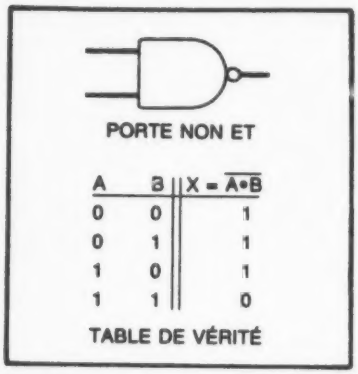


Fig. 6. Le cercle dans le symbole de la porte NON-OU indique toujours une inversion. La droite tracée au-dessus des lettres signifie également une inversion: $\overline{A + B}$ indique que A et B s'ajoutent, mais le résultat est inversé.

21 Portes NON ET

Une porte NON ET combine la logique d'une porte ET et une opération NON. La porte NON ET effectue d'abord l'opération ET sur les entrées, puis l'opération NON sur le résultat. Le symbole de la



PORTE NON ET

A	B	X = $\overline{A \cdot B}$
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

TABLE DE VÉRITÉ

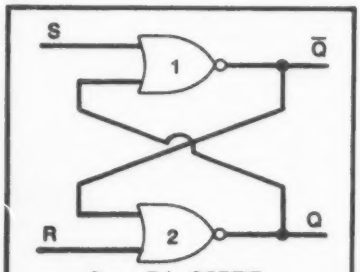
Fig. 7. Une porte NON ET se comporte comme une porte NON connectée à la sortie d'une porte ET.

porte NON ET est montré à la **figure 7.** Vous noterez ici aussi le petit cercle qui représente l'inversion. Comme vous pouvez le constater en comparant les tables de vérité des figures 4 et 7, la sortie NON ET est l'inverse (l'opposé) de la sortie ET: ce qui veut dire que la sortie ET n'est au niveau haut que si toutes les entrées sont au niveau haut, alors que la sortie NON ET n'est basse que si toutes les entrées sont au niveau haut.

22 Bascules

Dans la plupart des appareils ou circuits, lorsqu'un signal d'entrée est appliqué, la sortie change en fonction de l'entrée. Lorsque le signal d'entrée n'est plus présent, la sortie revient à son état initial. Du fait que ces circuits reviennent à leur état normal lorsque le signal d'entrée n'est plus présent, ils sont dépourvus de cette propriété qu'on appelle *mémoire*. Il existe néanmoins certains types d'appareils et de circuits qui ont une mémoire. Cela signifie que, lorsqu'un signal d'entrée est envoyé, la sortie change d'état, et lorsque le signal d'entrée disparaît, l'appareil garde son nouvel état.

Le dispositif le plus courant muni d'une mémoire est ce qu'on appelle une bascule. Une bascule est un circuit logique à deux sorties inversées (ou opposées) l'une par rapport à l'autre: si une sortie est égale à 0, l'autre est égale à 1. La bascule oscille entre ces deux états en réaction à un signal d'entrée. Lorsque ce signal d'entrée disparaît, la bascule reste néanmoins dans son état le plus récent, jusqu'à ce qu'elle reçoive un nouveau signal d'entrée. (Les bascules sont également appelées *multivibrateurs bistables* ou dispositifs de «*verrouillage*».)



S	R	SORTIE
0	0	Pas de changement
1	0	Q = 1
0	1	Q = 0
1	1	Ambiguë

TABLE DE VÉRITÉ

Fig. 8. Bascule NON-OU élémentaire. Vous noterez que la sortie de chaque porte NON-OU sert d'entrée à l'autre porte.

On peut construire une bascule simple avec deux portes NI, ou avec deux portes NON ET interconnectées. La **figure 8** montre une bascule NON-OU et sa table de vérité. Les entrées sont *S* et *R* (mise à un et remise à zéro). La sortie non-*Q*, ou *Q* surmontée d'une barre qu'on appelle également parfois *Q* barre est toujours l'opposé de la sortie *Q*.

Si les entrées mise à un (S) et remise à zéro (R) sont toutes deux égales à 0, nous ne connaissons pas l'état de la sortie, mais *nous savons* en revanche qu'il sera le même qu'avant l'application du signal. Si $S = R = 0$, il n'y aura aucun changement, parce qu'une sortie NON-OU n'est égale à 1 que si toutes les entrées sont égales à zéro. Si l'on suppose que $Q = 0$ avant l'envoi du signal, alors l'entrée 0 sur NI-1 donne 1 sur cette sortie qui alimente NI-2, ce

qui donne 0 à la sortie de NI-2. Si l'on suppose que $Q = 1$ avant l'envoi du signal d'entrée, alors l'entrée 1 envoyée sur NON-OU-1 donne 0 à la sortie, qui est envoyée sur l'entrée de NON-OU-2, ce qui donne 1 à la sortie. (Il serait peut-être utile que vous inscriviez ces signaux au crayon sur la figure, pour mieux comprendre ce qui se passe en réalité.) Enfin, lorsque les deux valeurs d'entrée S et R sont égales à 0, la bascule est à l'état «normal», ou sans changement.

Pour faire passer la bascule à un état donné, il faut envoyer 1 sur l'entrée appropriée. Pour que $Q = 1$, par exemple, il faut envoyer 1 sur la borne S, tout en maintenant R à 0. Voyons un peu ce qui se passe: $Q = 1$ et $S = 1$; ce qui signifie que la sortie NON-OU-1 = 0, ou $\overline{Q} = 0$. Si on envoie deux 0 logiques sur NON-OU-2, $Q = 1$; donc, notre théorie est vérifiée! (Vous vous souviendrez que $\overline{Q}$ est toujours égal à l'opposé de la sortie de Q.)

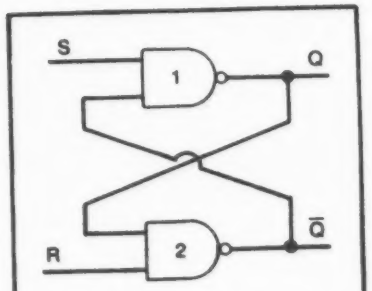
Si on veut que $Q = 0$, il faut faire l'inverse, c'est-à-dire envoyer un signal d'entrée 0 sur la borne S et un 1 sur la borne R.

Il faut éviter la condition S = R = 1, car il en résulterait une sortie des deux portes NON-OU égale à 0. Cette condition n'est jamais délibérément créée sur une bascule, car elle entraîne une condition ambiguë, voire invalide: la bascule ne peut ni passer à 1, ni se remettre à zéro, ce qui crée une situation conflictuelle pour les portes; la bascule, dans la confusion, se mettrait à changer d'état à une allure folle et finirait par bloquer dans un état imprévisible. Il faut donc éviter cette condition d'entrée.

Vous trouverez à la **figure 9** la représentation schématique d'une bascule NON ET et de sa table de vérité. La bascule NON ET est semblable à la bascule NON-OU.

Si l'on envoie 1 sur les deux bornes de mise à un (S) et de remise à zéro (R) de la bascule NON ET, celle-ci restera dans son état «normal», à savoir l'état dans lequel elle se trouvait avant réception du signal d'entrée. Lorsqu'une entrée 0 est envoyée sur la borne d'entrée de mise à un, et une entrée 1 sur la borne d'entrée de remise à zéro, la bascule se place sur $Q = 1$. Si un signal 1 est envoyé sur la borne S et une entrée 0 sur la borne R, la bascule revient à l'état $Q = 0$.

Il ne faut jamais envoyer un 0 sur les entrées de mise à un et de remise à zéro, car cela crée une condition ambiguë.



S	R	SORTIE
0	0	ambiguë
0	1	Q = 1
1	0	Q = 0
1	1	Pas de changement

TABLE DE VÉRITÉ

Fig. 9. La seule sortie qu'on peut obtenir lorsqu'on envoie un 0 logique sur l'une des entrées d'une porte NON ET est un 1 logique. Cela vient du fait qu'il faut deux entrées logiques 1 pour obtenir une sortie 0.

23 Registres à décalage

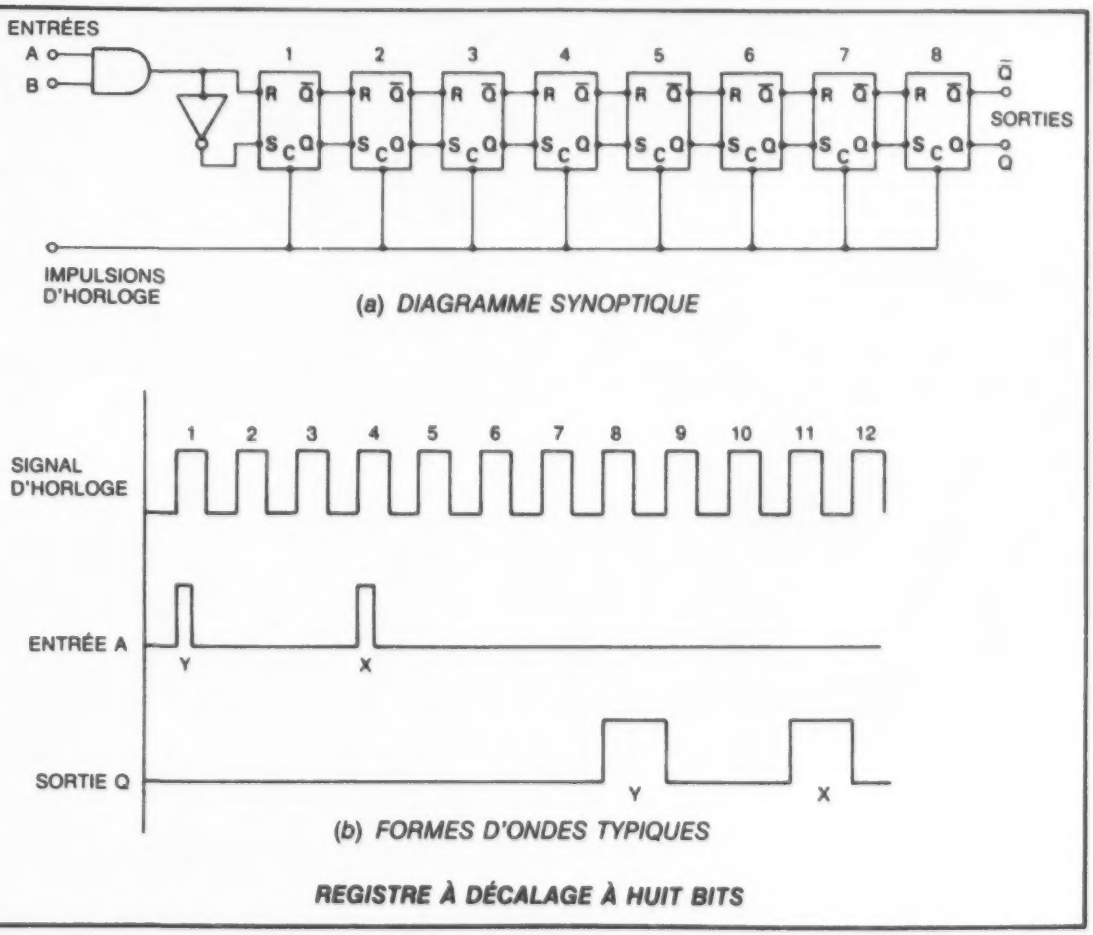
Une série de bascules servant à mémoriser temporairement un groupe particulier de 0 et de 1 (on parle souvent de mot binaire) est appelé *registre*. Il existe une opération courante qui consiste à transférer

l'information binaire mémorisée dans un registre, ou groupe de bascules, sur un autre registre. Ce transfert d'information d'un registre à l'autre peut se produire d'un seul coup; il s'agit alors d'un transfert *en parallèle*. L'information peut être aussi transférée d'un registre à l'autre, bit par bit; il s'agit alors d'un transfert *en série*. Pour le transfert *en parallèle*, il suffit d'une impulsion de transfert pour que toutes les bascules du registre *A* transfèrent simultanément les informations qu'elles détiennent aux bascules du registre *B*.

Le circuit de registre à décalage en série sert à transférer le contenu d'un registre sur un deuxième registre, bit par bit. À chaque fois qu'un bit doit être transféré d'un registre sur l'autre, il faut une impulsion de transfert séparée. Les systèmes munis de registres à décalage en série ne sont pas aussi rapides que les systèmes réalisant des transferts en parallèle, mais ils sont moins coûteux et plus souples.

Fig. 10. Registre à décalage à huit bits.

La figure 10 montre un registre à décalage de 8 bits. Les huit circuits de bascules sont montés en série, les bornes de sortie de l'un



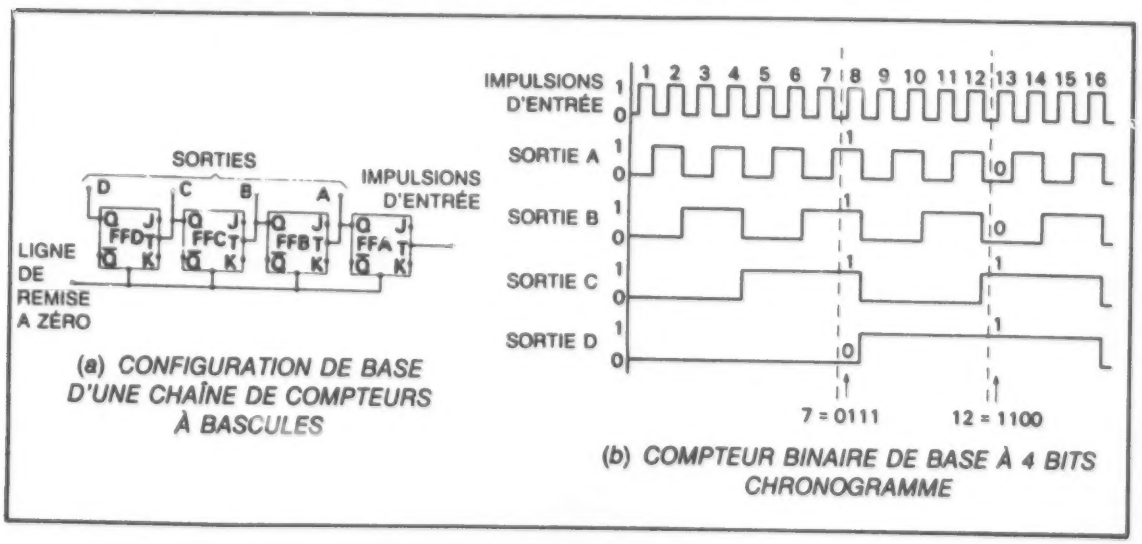
étant connectées aux bornes d'entrée de l'autre. Des impulsions d'horloge sont envoyées simultanément sur les huit bascules. Lorsqu'une impulsion d'horloge arrive sur la borne d'horloge (*C*), l'information d'entrée est envoyée dans le circuit de la première bascule. Si un bit d'information est prêt à l'entrée, au moment où l'impulsion d'horloge suivante arrive, le premier bit est alors transféré sur la deuxième bascule et la nouvelle information est mémorisée dans la première bascule.

Par conséquent, à chaque fois qu'une nouvelle impulsion d'horloge est envoyée, l'information mémorisée dans chaque bascule est transférée vers l'étage suivant et la nouvelle information est introduite dans le circuit de la première bascule. Finalement, toutes les bascules seront remplies et l'information sera mémorisée (un bit par bascule) pendant une période prédéterminée. En envoyant uniquement des impulsions d'horloge, l'information peut être évacuée du registre à décalage, toujours bit par bit.

24 Compteurs asynchrones

Le compteur binaire en série, souvent appelé *compteur asynchrone* du fait que les signaux se «propagent» dans le système, sert à compter les impulsions. Ce type de compteur est constitué par des circuits de bascules montés en série, de telle manière que la sortie d'une bascule place la bascule suivante dans son état complémentaire. (Une bascule déclenche la bascule suivante, qui à son tour déclenche la troisième, etc.) La **figure 11**(*a*) montre quatre bascules montées en série. Lorsque la première impulsion d'entrée (1 logique) est envoyée, la bascule A (FFA) change d'état pour envoyer un 1 sur la sortie A,

Fig. 11. Compteur binaire de base à 4 bits.



(*a*) *CONFIGURATION DE BASE D'UNE CHAÎNE DE COMPTEURS À BASCULES*

(*b*) *COMPTEUR BINAIRE DE BASE À 4 BITS CHRONOGRAMME*

comme en (*b*). La deuxième impulsion d'entrée remet à zéro le circuit et produit un 0 logique à la sortie A : la troisième produit un 1; la quatrième un 0, etc.

Les circuits d'entrée des bascules sont montés de manière à se déclencher lors du front descendant de l'impulsion d'entrée. Donc, lorsque la sortie de la bascule *A* passe de 1 à 0, la sortie de la deuxième bascule *B* (FFB) est amenée à 1 et reste dans cet état jusqu'à ce que la sortie de la bascule *A* passe à nouveau de 1 à 0, ce qui arrive au bout de deux impulsions d'entrée. Puis, la bascule *B* revient à 0. De même, la sortie de la bascule *B* déclenche la bascule *C* et la sortie de la bascule *C* déclenche la bascule *D*.

La numération binaire des impulsions d'entrée est fournie à tout moment par les états binaires aux sorties des bascules *D*, *C*, *B* et *A*. Vous vous reporterez de nouveau à la figure 11 (*b*). Immédiatement après la septième impulsion d'entrée, on obtient 0111, l'équivalent binaire de 7; après la douzième impulsion d'entrée, on obtient 1100; etc. Le tableau 4 donne les états binaires pour les quatre bascules et pour un maximum de 16 impulsions d'entrée. À la seizième

TABLEAU 4

ÉTAT DE SORTIE DU COMPTEUR BINAIRE À 4-BITS

VALEUR DÉCIMALE	ÉTAT DES SORTIES			
	D	C	B	A
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
5	0	1	0	1
6	0	1	1	0
7	0	1	1	1
8	1	0	0	0
9	1	0	0	1
10	1	0	1	0
11	1	0	1	1
12	1	1	0	0
13	1	1	0	1
14	1	1	1	0
15	1	1	1	1
16	0	0	0	0

impulsion, toutes les sorties seront au niveau logique 0 et la séquence recommencera.

Vous observez la ligne de remise à zéro de la figure 11. L'envoi d'un signal logique 1 sur cette ligne à un moment quelconque entraîne la remise à zéro de toutes les sorties des bascules.

25 Diviseurs de fréquence

Le compteur est, en réalité, un diviseur de fréquence. Cela signifie que chaque impulsion ou signal d'entrée reçu par le circuit du compteur n'est pas compté directement; en fait, le compteur répond à chaque impulsion d'entrée, mais il n'envoie d'impulsions de sortie que lorsqu'un nombre donné d'impulsions d'entrée a été reçu. Le rapport des impulsions d'entrée sur les impulsions de sortie est appelé facteur de *proportionnalité d'échelle*.

Une bascule produit une impulsion de sortie pour deux impulsions d'entrée reçues. Bien sûr, lorsque les bascules sont montées en série, le facteur de proportionnalité d'échelle augmente. Dans l'exemple donné à la figure 11, où quatre bascules sont montées en série, ce facteur est: $2 \times 2 \times 2 \times 2 = 16$.

Exercice de contrôle 2

Vous allez maintenant pouvoir réviser vos connaissances sur la logique binaire en répondant au petit questionnaire suivant. Pour contrôler vos connaissances, il vous suffit de comparer vos réponses aux nôtres. Si vous vous êtes trompé en cours de route, n'oubliez pas de revoir les sections citées en référence.

Vos réponses

1. Si vous deviez représenter les valeurs de quatre positions dans un système de numération binaire à l'aide d'interrupteurs, combien d'interrupteurs faudrait-il? 1. _____

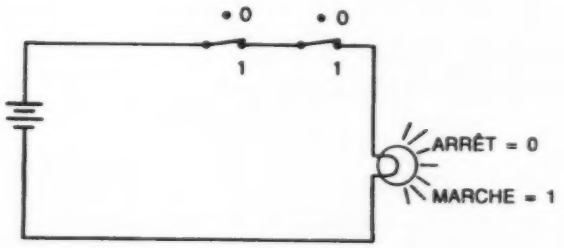
   A. 2 *C.* 8
   B. 4 *D.* 16

2. Le terme 0 logique a le même sens que: 2. _____

   A. faux *C.* en marche
   B. vrai *D.* oui

3. Dans la fonction OU, si $A = 1$ et $B = 1$, alors $A + B =$ _____. 3. _____

4. Le schéma suivant est un circuit logique représenté par analogie avec des interrupteurs 4. _____

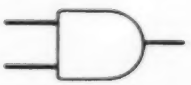


Parmi les quatre symboles logiques suivants, quel est celui qui se rapporte à l'analogie?

A.

C.

B.

D. 

5. Lorsqu'un compteur est constitué de 4 bascules montées en série, combien d'impulsions va-t-il compter avant de revenir au point où toutes les sorties sont égales à 0? 5. _____

   A. 4 *C.* 12
   B. 8 *D.* 16

Réponses aux questions de l'exercice de contrôle 2

1.	A. 2	Section 10
2.	A. Faux	Section 14
3.	1	Section 15
4.	D.	Section 18, Fig. 4
5.	D. 16	Section 24

Vérifications logiques

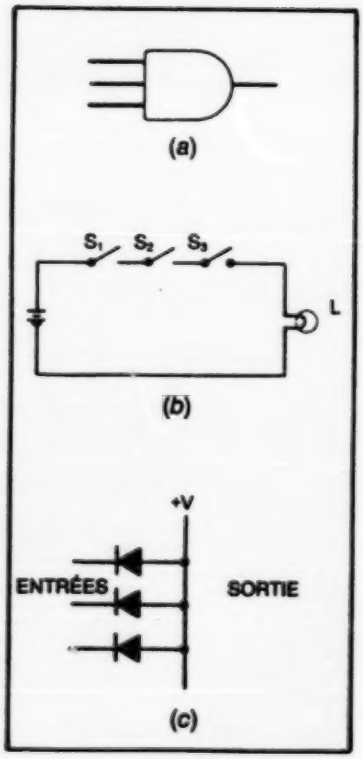


Fig. 12. Le schéma (*a*) représente le symbole d'une porte ET, alors que le schéma (*b*) représente un simple circuit d'éclairage. Pour obtenir un signal de sortie, c'est-à-dire pour que la lampe (*L*) s'allume, les trois interrupteurs *doivent* tous *être* fermés. Enfin, pour que la sortie du circuit représenté en (*c*) soit 1, l'entrée doit être égale à 1 sur chacune des trois bornes d'entrée.

26 Mode de vérification

Dans la première partie de ce cours, nous avons abordé les principes de base des appareils numériques. Nous avons souligné que les portes logiques pouvaient être construites de différentes manières, mais que la logique fonctionnait toujours de la même façon, quelle que soit la méthode utilisée pour réaliser la fonction considérée.

Revenons à la porte ET. La **figure 12**(*a*) montre le symbole logique d'une porte ET. En (*b*) est représenté un système de commutateurs S_1, S_2, et S_3; ce système est un circuit de porte ET. Enfin, en (*c*), on peut voir encore un autre circuit de porte ET, mais celui-là est muni de diodes. Dans tous les cas, ce qu'il faut vérifier, pour une série donnée de conditions d'entrée, c'est qu'on a bien les conditions de sortie convenables.

Ce que l'on vérifie le plus souvent, ce sont les CI (circuits intégrés), bien que l'on ait parfois à vérifier des composants individuels, comme des transistors. Mais dans ce cours, nous parlerons essentiellement de vérifications de CI. Vous pouvez être amené à vérifier des CI individuels pour vous assurer de leur bon fonctionnement, avant de les installer ou de les remplacer dans un circuit; vous pouvez avoir également à utiliser un schéma logique pour localiser un composant défectueux dans un système.

27 Analyse des niveaux logiques et des impulsions

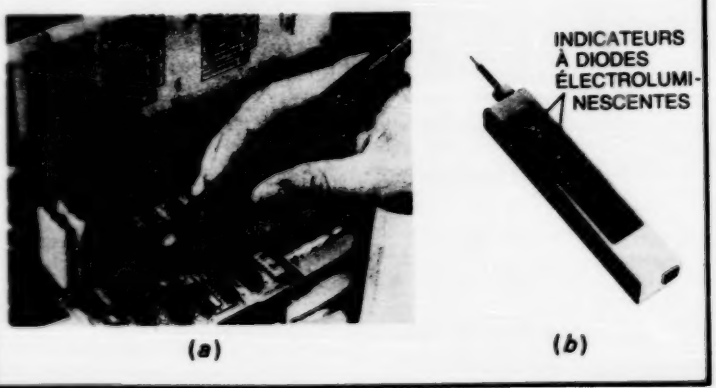
Comme vous l'avez appris dans des cours précédents, le dépannage point par point est une technique de dépannage qui consiste à envoyer un signal opportun sur les bornes d'entrée du composant soumis à la vérification, puis à vérifier la présence, l'absence ou la modification du signal en des points successifs du circuit. De cette manière, on progresse des bornes d'entrée du circuit vers les bornes de sortie de l'appareil en charge.

28 Sondes logiques

Une sonde logique est un petit appareil, en forme de crayon, qui est utilisé sur un circuit pour déterminer le niveau logique en un point donné. Une sonde logique est capable de détecter un niveau logique haut, un niveau logique bas et le niveau indéterminé entre les deux. Elle est également capable d'indiquer une commutation logique normale et de signaler une tension d'entrée excessive.

Les sondes logiques diffèrent légèrement d'un fabricant à l'autre. Certains constructeurs utilisent des voyants de couleurs différentes en fonction des états, alors que certains autres font très peu intervenir les niveaux lumineux, ou l'intensité lumineuse. Par exemple, un type de sonde peut indiquer un niveau logique haut au moyen d'un voyant rouge, un niveau logique bas au moyen d'un voyant vert et le niveau de tension indéterminé entre les deux précédents au moyen d'un voyant jaune. Une sonde logique d'un autre type indiquera un niveau logique haut au moyen d'un voyant de forte intensité, un niveau de logique bas sans aucun voyant, et un niveau de tension indéterminé entre les niveaux bas et haut, au moyen d'un voyant de faible intensité. Le premier type de sonde est plus facile à utiliser pour les débutants, mais le second type de sonde est beaucoup plus rapide à maîtriser. (Les instructions fournies avec chaque sonde logique expliquent comment il faut interpréter les voyants.)

La **figure 13**(*a*) montre un type de sonde logique. Cette sonde indique les niveaux logiques hauts stables, les niveaux logiques bas stables, les impulsions intermittentes et normales, les niveaux de tension incorrects ou les circuits ouverts. Les sondes logiques sont également disponibles avec une mémoire intégrée, ce qui permet de les utiliser pour la localisation des défauts sur les circuits rapides. Ces sondes ont généralement un affichage par diode électroluminescente (fig. 13(b)) et elles gardent l'information captée jusqu'à ce que la remise à zéro soit effectuée par l'opérateur.



Courtoisie de Hewlett-Packard Company (a)
Courtoisie de Global Spécialities Corporation (b)

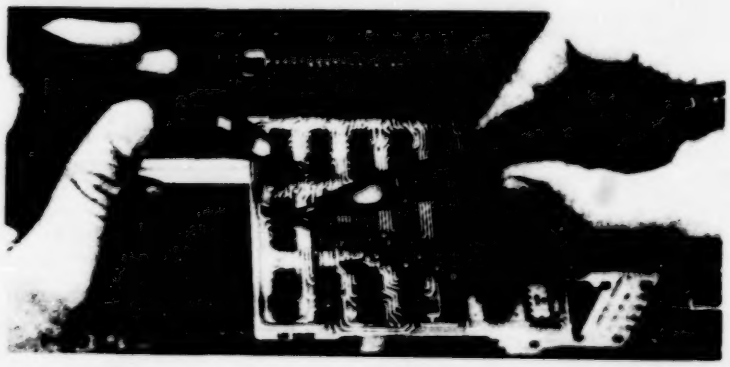
Fig. 13. La majorité des sondes logiques sont alimentées par la même source c.c. (courant continu) que celle qui alimente le circuit soumis à l'essai. Du fait qu'un côté de la source c.c. est généralement mis à la terre, il est inutile de prévoir une pince de terre supplémentaire. Pour faire fonctionner la sonde, il suffit de poser le bout de la sonde sur le point du circuit soumis à l'essai.

29 Sondes spéciales

Parmi les sondes spéciales, on peut citer le *générateur d'impulsion unique* qui sert à injecter dans le circuit intégré à vérifier, une brève impulsion. Il suffit de toucher avec la sonde un point du circuit soumis à la vérification, d'enfoncer la touche de déclenchement, et tous les circuits raccordés à ce point reçoivent alors une impulsion de très courte durée.

Le générateur d'impulsion unique, comme la sonde logique, est un petit appareil en forme de crayon, qui se tient dans la main et permet d'envoyer des impulsions très courtes au circuit soumis à la vérification. Il est représenté dans la partie gauche de la **figure 14**. L'impulsion de sortie est appliquée à un point déterminé du circuit que l'on vérifie, forçant ce point à assumer une logique 1 ou 0 (zéro). Les générateurs d'impulsion unique, utilisés conjointement avec les sondes logiques, permettent de détecter rapidement les composants logiques défectueux.

La figure 14 montre également un détecteur de courant (à droite). Cet appareil d'essai détecte et affiche la présence du courant dans le circuit. Il réagit au courant et non à la tension.



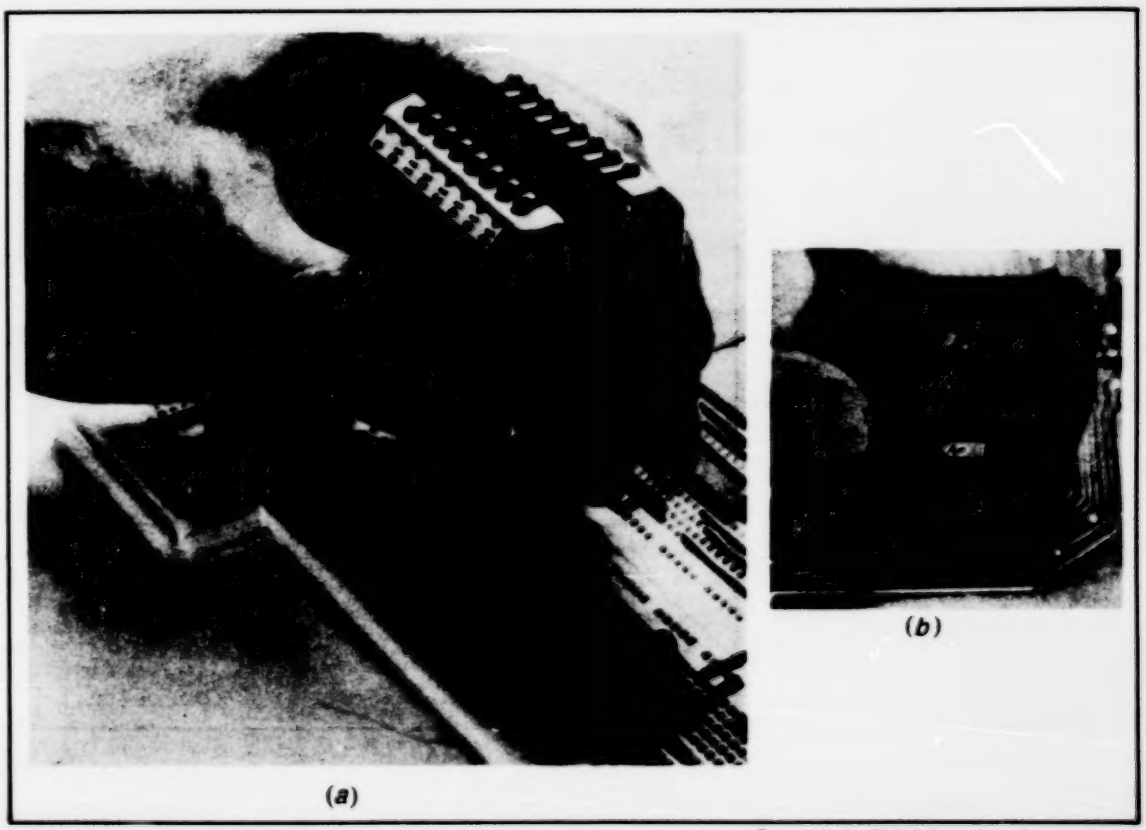
Courtoisie de Hewlett-Packard Company.

Fig. 14. Le générateur d'impulsions unique représenté ici est en réalité un type de générateur d'impulsions incorporé dans une sonde. Il envoie une impulsion et l'état du circuit intégré est affiché sur la pince logique. (Si le circuit intégré ne suit pas sa table de vérité, c'est parce qu'il ne fonctionne pas normalement.)

30 Pinces logiques pour CI

La pince logique pour circuits intégrés est un type de sonde qui peut être adaptée sur un circuit intégré en fonction, pour afficher simultanément les états de toutes les broches. Des affichages à diodes électroluminescentes indiquent ensuite les états logiques de toutes les broches, qui sont comparés à la table de vérité du cir-

cuit intégré en question. Le générateur d'impulsion unique représenté sur la **figure 14** est utilisé avec cette pince pour CI. Il sert à envoyer des impulsions d'horloge et de remise à zéro sur le circuit, après quoi la pince logique pour CI indique tout défaut éventuel sur l'affichage à diode électroluminescente. (Si le circuit intégré ne fonctionne pas normalement, il ne correspond pas à sa table de vérité.). Les pinces logiques pour CI, représentées aux **figures 15**(*a*) et (*b*) peuvent indiquer l'état logique de 16 broches au maximum.



(*a*) (*b*)

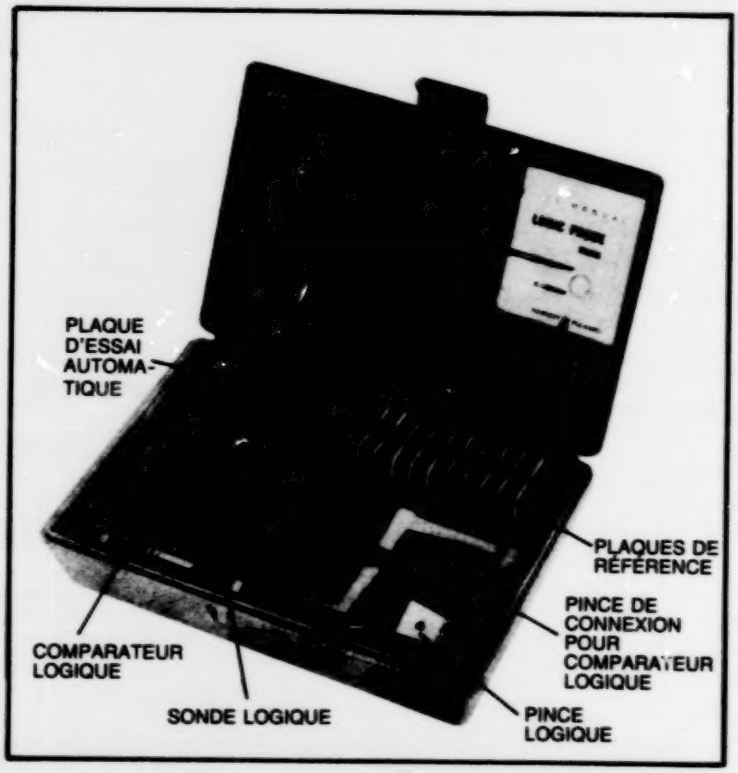
Courtoisie de Global Specialties Corporation (a)
Courtoisie de Hewlett-Packard Company (b)

Fig. 15. Les pinces logiques pour CI représentées ici sont munies d'affichages à diode électroluminescente qui indique l'état logique de chaque broche individuelle du circuit intégré. Lorsque la diode s'allume, cela indique un niveau logique haut et, lorsqu'elle reste éteinte, c'est parce que le niveau logique est bas.

Différentes pinces logiques sont disponibles en fonction des dimensions et des types de circuits intégrés. Il faut ajouter, enfin, que si les fabricants utilisent des noms différents pour chaque type de sonde à pinces; la fonction, quant à elle, reste toujours la même.

31 Comparateurs logiques

Le comparateur logique est un appareil qui sert à comparer le circuit intégré que l'on doit vérifier à un circuit de référence en bon état de fonctionnement. Le dispositif montré à la **figure 16** fait partie d'une trousse de dépannage pour circuits intégrés.



Courtoisie de Hewlett-Packard Company.

Fig. 16. Ce comparateur logique fonctionne lorsque les circuits intégrés à vérifier et ceux de référence sont montés en parallèle. On compare les sorties des deux CI; toute différence de sortie est consignée; et les diodes électroluminescentes correspondant à la broche ou aux broches présentant une différence s'allument sur l'écran d'affichage du comparateur.

La trousse renferme également une sonde logique, une pince logique, une plaque de vérification automatique et un jeu de plaques de référence. La valise renferme aussi un classeur pour les différents manuels d'instructions. La plaque de vérification automatique sert à vérifier le comparateur logique.

Le comparateur logique s'adapte sur le CI en fonction et détecte tout défaut fonctionnel en comparant le CI en fonction à un circuit de référence inséré dans le comparateur. (On sait, bien sûr, que ce circuit de référence est bon.) Toute différence entre les deux CI est affichée sur l'écran à diode électroluminescente. L'un des avantages du comparateur est qu'il n'est pas nécessaire de retirer le CI, que l'on veut vérifier, de la plaque.

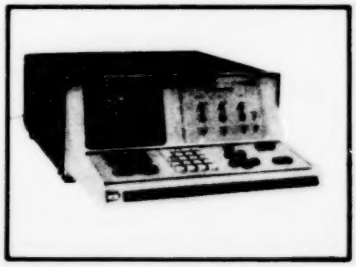
L'utilisation de ce comparateur est très facile. Il faut tout d'abord identifier le CI en question. Il faut ensuite placer un CI du même type dans la douille du CI du comparateur, ou bien on peut insérer dans le comparateur une plaque de référence munie d'un CI du même type. On raccorde ensuite le comparateur au CI à vérifier et une indication immédiate est donnée dans le cas où ce dernier fonctionne différemment du CI de référence.

32 Analyseurs logiques

L'analyseur logique est un appareil de vérification perfectionné (**fig. 17**) qui ressemble un peu à un oscilloscope. Il sert à fournir à l'opérateur une vue d'ensemble sur le fonctionnement d'un système numérique global. Il existe en réalité deux types d'analyseurs logiques (même s'ils sont parfois intégrés sur le même appareil, mais sous la forme de deux modes de vérification différents): l'analyseur logique de synchronisation et l'analyseur logique d'état. Chacun des deux appareils a pour fonction de contrôler le fonctionnement du système dans son ensemble.

L'analyseur logique de *synchronisation* indique l'état de plusieurs lignes d'informations numériques simultanées et affiche ces différents états avec une impulsion d'horloge d'un système de référence, si bien qu'on peut visualiser simultanément les états logiques de chaque ligne. L'analyseur de synchronisation sert à détecter les *erreurs*, c'est-à-dire les mauvais intervalles de synchronisation et les signaux envoyés dans une séquence incorrecte.

L'analyseur logique d'*état* sert à vérifier le logiciel. Il affiche simultanément la séquence des états sur des données parallèles et synchrones, ainsi que les lignes d'adresses. L'analyseur d'état affiche simultanément plusieurs lignes de synchronisation en binaire et parfois aussi dans un système de numération intermédiaire, comme le système octal.



Courtoisie de Hewlett-Packard Co. Inc.

Fig. 17. Cet analyseur logique fait figure de double appareil: analyseur de synchronisation et analyseur d'état. (L'écran affiche un diagramme de synchronisation.) L'opérateur choisit le mode de fonctionnement (synchro ou état, ou les deux) et les paramètres à vérifier en répondant aux questions sur l'écran.

33 Analyseurs logiques et oscilloscopes

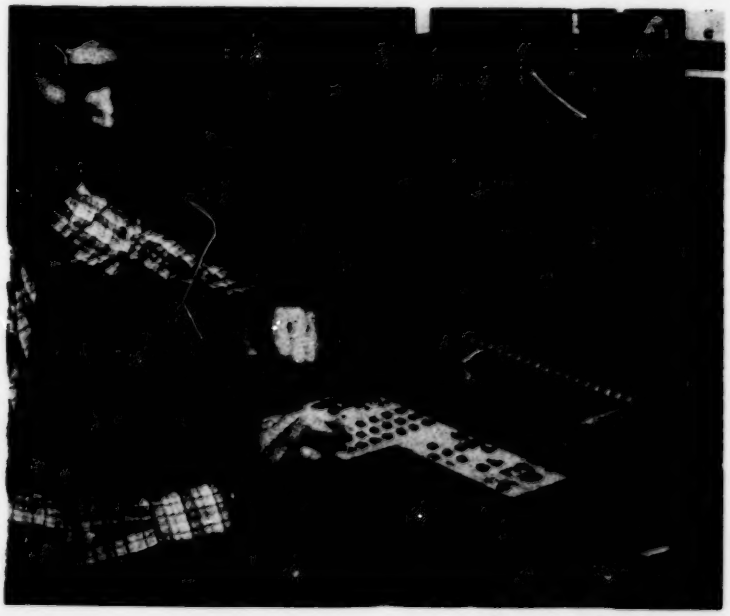
L'analyseur logique permet de visualiser les réactions de circuits fonctionnant ensemble, alors que l'oscilloscope est conçu pour contrôler des circuits individuels. Le problème est souvent détecté par l'analyseur logique et ensuite l'oscilloscope sert à vérifier la ligne individuelle où le problème a été détecté.

Par exemple, si vous détectez un problème de synchronisation à l'aide d'un analyseur logique, vous utiliserez vraisemblablement un oscilloscope pour effectuer l'analyse détaillée de synchronisation.

Il existe en fait des analyseurs logiques embrochables sur oscilloscopes. Mais il faut se rappeler que l'analyseur logique est un appareil complémentaire et non similaire à l'oscilloscope.

34 Appareils de vérification numériques spéciaux

Un exemple d'appareil de vérification numérique spécialisé est reproduit sur la **figure 18.** Cet appareil, baptisé Appareil d'essai programmable pour réseaux de communication des données, est un appareil de vérification portatif «tout ou rien», capable d'isoler rapidement un élément défectueux sur un réseau de communication. Il peut isoler le défaut en surveillant le transfert de données. Le technicien a la possibilité de simuler le terminal ou le matériel de communication de données pour vérifier la performance des composants de l'ensemble du canal de communication.



Courtoisie de Tektronixs, Inc.

Fig. 18. Cet appareil portatif léger est conçu pour les applications numériques. On peut préprogrammer les fonctions à vérifier grâce à l'emploi de cartes mémoire déjà préparées.

Le dépannage est encore plus rapide si l'on utilise une série de cartes à mémoire ROM (mémoire morte), contenant des sous-programmes de vérification standard préprogrammés, conçus pour ce système spécifique. Pour exécuter une procédure de vérification préprogrammée, il faut introduire une carte ROM dans le panneau arrière de l'appareil de vérification, appeler le programme et enfoncer la touche MARCHE. L'exécution et la vérification automatique fournissent une sortie immédiate «tout ou rien» sur l'écran d'affichage numérique à 16 caractères.

Exercice de contrôle 3

Vous allez maintenant faire une pause pour revoir quelques points-clés sur les vérifications logiques, avant de répondre à l'examen personnel. Comparez vos réponses aux nôtres et révisez, au besoin, les notions qui ne vous sont pas claires.

Vos réponses

1. Une sonde logique peut indiquer les états logiques, soit par _____, soit par _____ du voyant lumineux.

   1. _____
      _____

2. Quel type d'appareil en forme de crayon et qui se tient dans la main pouvez-vous utiliser pour changer l'état d'un circuit logique?

   2. _____

3. Vrai ou faux? Un comparateur logique doit avoir un circuit intégré de référence, ou un circuit standard pour pouvoir fonctionner efficacement.

   3. Vrai Faux
      (Encerclez votre choix)

4. La réaction de circuits fonctionnant ensemble peut être visualisée sur un _____.

   4. _____

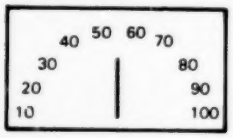
Réponses aux questions de l'exercice de contrôle 3

1. la couleur Section 28
   l'intensité
2. un générateur à impulsion unique Section 29
3. Vrai Section 31
4. analyseur logique Section 32

Examen personnel

Lisez attentivement chacune des phrases suivantes et assurez-vous que vous en comprenez bien le sens. Chaque phrase est suivie de quatre mots ou groupes de mots dont un seul est correct. Faites un X sur la lettre correspondant à votre réponse.

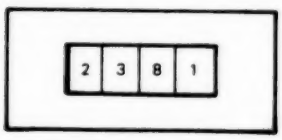
1. Parmi les appareils suivants, lequel a un affichage numérique?



A. Tachymètre.

C. Ampèremètre.

B. Niveau du liquide.



D. Odomètre.

2. Dans le nombre 8769, quel est le chiffre de poids faible?

A. 9
B. 8
C. 7
D. 6

3. Quel est l'équivalent décimal du nombre binaire 10000?

A. 8
B. 16
C. 32
D. 48

4. Quel serait l'équivalent binaire du nombre décimal 836?

A. 1101000100
B. 1110000100
C. 1101000101
D. 11101000101

5. Quel est l'équivalent décimal du nombre octal 4821?

   A. 2577
   B. 2576
   C. 2337
   D. 2336

6. La lettre F dans le système hexadécimal équivaut à _____ dans le système décimal.

   A. 11
   B. 12
   C. 14
   D. 15

7. Parmi les tables de vérité suivantes, quelle est celle qui correspond à une porte OU?

A.

A	*B*	*X* = *A* + *B*
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

B.

A	*B*	*X* = *A* + *B*
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

C.

A	*B*	*X* = *A* + *B*
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

D.

A	*B*	*X* = *A* + *B*
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

8. Parmi les dispositifs suivants, quel est celui qui a la caractéristique de mémoire?

   A. Porte OU.
   B. Porte NON ET.
   C. Bascule.
   D. Inverseur.

9. Lorsque vous analysez un circuit pour isoler une porte bloquée, quel instrument allez-vous utiliser?

   A. Générateur à impulsion unique et multimètre numérique.
   B. Générateur à impulsion unique et sonde logique.
   C. Analyseur de synchronisation et multimètre numérique.
   D. Sonde logique et analyseur de synchronisation.

10. Lorsque vous utilisez _____, vous devez également utiliser un circuit intégré dont vous savez qu'il fonctionne correctement comme circuit standard ou circuit de référence.

    A. une pince d'essai pour circuit intégré
    B. une sonde logique
    C. un comparateur logique
    D. un analyseur d'état

Vous trouverez les réponses à la page 312.

Appareils de vérification numériques

BF0106

(Lexiques)

Français	Anglais
Aiguille	Pointer (on a meter)
Bascule	Flip-Flop
Bit de poids faible	Least Significant Digit (LSD)
Bit de poids fort	Most Significant Digit (MSD)
Chaîne/suite	String
Registre à décalage	Shift Register Circuit
Comparateur logique	Logic Comparator
Compteur asynchrone	Ripple Counter
Délai de propagation	Propagation Delay
Diode électroluminescente (DEL)	Led (Light-Emetting Diode)
Diviseur de fréquence	Frequency Divider
Entrée	Input
Front	Edge (of a pulse)
Générateur d'impulsions	Pulser
Interconnecté	Cross-Connected
Inverseur	Inverter
Multimètre numérique	DMM (Digital Multimeter)
Multivibrateur bistable	Bistable Multivibrator)
Non	Not
Numération	Notation/Numbering/ Counting
Octal	Octal
Odomètre	Odometer
Onde carrée (ou rectangulaire)	Square Wave
Pince logique	Logic Clip
Porte NON-OU (NI)	Nor Gate
Porte NON-ET	Nand Gate
Rapport cyclique	Duty Cycle
Séquence d'impulsions	Pulse String
Signal de synchronisation	Timing Signal
Sonde logique	Logic Probe
Tachymètre	Speedometer
Temps de descente	Fall Time
Temps de montée	Rise Time
Train d'impulsions	Pulse Train
Transfert de données	Date Link
Transfert parallèle	Parallel Transfer

Anglais	Français
Bistable Multivibrator	Multivibrateur bistable
Cross-Connected	Interconnecté
Data Link	Transfert de données
DMM (Digital Multimeter)	Multimètre numérique
Duty Cycle	Rapport cyclique
Edge (of a pulse)	Front
Fall Time	Temps de descente
Flip-Flop	Bascule
Frequency Divider	Diviseur de fréquence
Input	Entrée
Inverter	Inverseur
Least Significant Digit (LSD)	Bit de poids faible
Led (Light-Emetting Diode)	Diode électroluminescente (DEL)
Logic Clip	Pince logique
Logic Comparator	Comparateur logique
Logic Probe	Sonde logique
Most Significant Digit (MSD)	Bit de poids fort
Nand Gate	Porte NON-ET
Nor Gate	Porte NON-OU (NI)
Not	Non
Notation/Numbering/ Counting	Numération
Octal	Octal
Odometer	Odomètre
Parallel Transfer	Transfert parallèle
Pointer (on a meter)	Aiguille
Propagation Delay	Délai de propagation
Pulse String	Séquence d'impulsions
Pulse Train	Train d'impulsions
Pulser	Générateur d'impulsions
Ripple Counter	Compteur asynchrone
Rise Time	Temps de montée
Shift Register Circuit	Registre à décalage
Speedmeter	Tachymètre
Square Wave	Onde carrée (ou rectangulaire)
String	Chaîne/suite
Timing Signal	Signal de synchronisation

Réponses et références à l'examen personnel (BF0101)

Question	Réponse	Référence
1	D	Tableau 1
2	C	Section 7
*3	C	Section 15
*4	C	Section 16
5	D	Figure 9
6	A	Figure 9
7	B	Figure 9
8	B	Section 20
9	D	Section 30
10	B	Section 35

***Solutions**

3. $P = \frac{E^2}{R} = \frac{9}{1,5} = 6$

4. $W = Pt$

$$25\,200 = 75 \times t$$

$$t = \frac{25\,200}{75}$$

$$= 336$$

$$= \frac{336}{24} = 14 \text{ jours}$$

Réponses et références à l'examen personnel (BF0102)

Question	Réponse	Référence
1	C	Section 2
2	B	Section 2, fig. 1
3	D	Section 3
4	C	Section 10
5	D	Section 11, fig. 6
6	A	Section 11
7	B	Section 18, fig. 12
8	B	Section 21
9	D	Section 25
10	B	Section 28

Réponses et références à l'examen personnel
(BF0103)

Question	Réponse	Référence
1	B	Section 2
*2	A	Section 4
3	B	Section 6
4	A	Section 7
5	D	Section 8
6	D	Section 18, fig. 15
7	B	Section 20
8	A	Section 20
9	B	Section 21
10	B	Section 23

***Solution**

2. $R_x = \frac{R_3 \times R_1}{R_2} = \frac{200 \times 10}{100} = 20\ \Omega$

Réponses et références à l'examen personnel (BF0104)

Question	Réponse	Référence
1	C	Section 4
*2	A	Section 17
3	C	Section 21
*4	A	Section 22, fig. 12
5	B	Section 27
6	C	Section 28, fig. 15
7	B	Section 29, fig. 16
8	D	Section 30
9	A	Section 30, fig. 17
10	B	Section 35

Solutions

2. $6{,}25 \times 2 \times 10^{-6} = 12{,}5 \times 10^{-6}$

$$f = \frac{1}{t} = \frac{1}{12{,}5 \times 10^{-6}} = 80 \text{ kHz}$$

4. $4{,}5 \times 100 = 450$

Réponses et références à l'examen personnel (BF0105)

Question	Réponse	Référence
1	B	Section 5, fig. 3
2	C	Section 5
3	B	Section 8
4	B	Section 9, fig. 4
5	D	Section 11
6	D	Section 16
7	A	Section 17
8	C	Section 18
9	B	Section 19
10	D	Sections 28, 29

Réponses et références à l'examen personnel (BF0106)

Question	Réponse	Référence
1	D	Section 1
2	A	Section 2
*3	B	Tableau 1
*4	A	Section 5
*5	A	Section 7
6	D	Section 8
7	B	Section 15
8	C	Section 22
9	B	Section 29
10	C	Section 31

***Solutions**

3. $1 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 0 \times 2^0 = 6$

4. $\frac{836}{2}$ = 418 + reste 0 (bit de poids faible)

$\frac{418}{2}$ = 209 + reste 0

$\frac{209}{2}$ = 104 + reste 1

$\frac{104}{2}$ = 52 + reste 0

$\frac{52}{2}$ = 26 + reste 0

$\frac{26}{2}$ = 13 + reste 0

$\frac{13}{2}$ = 6 + reste 1

$\frac{6}{2}$ = 3 + reste 0

$\frac{3}{2}$ = 1 + reste 1

$\frac{1}{2}$ = 0 + reste 1 (bit de poids fort)

5. $4821 = 4 \times 8^3 + 8 \times 8^2 + 2 \times 8^1 + 1 \times 8^0$
$= 4 \times 512 + 8 \times 64 + 2 \times 8 + 1 \times$
$= 2577$

Mesures électroniques et instrumentation

Index alphabétique

AMPLIFICATEURS

Amplificateurs à large bande 187

générateur d'impulsions 187
générateurs de signaux carrés 187
réponse en fréquence 188
sur amplification 188

Analyseurs de signaux 140

amplitude 141
analyseur de bruits de ligne 144
analyseur de spectre 141, 145
analyseur d'onde 141, 144
audiofréquences 141
bruit 144
chercheur de parasites 144
décibelmètre 145
distorsiomètre 143
distorsion d'intermodulation 142
distorsion en amplitude 142
distorsion harmonique 142
fondamentale 141
fréquence 141
harmoniques 141
non-linéarité 143
ondes sonores 141
rapport signal/bruit 145
réponse en fréquence 146
transducteur 141

Injection de signaux 91

méthode 91

Modulation 87

excursion maximale 89
générateur de marquage 89
générateurs de signaux de balayage 89
MA 88
MF 88
modulation en amplitude 88
modulation en fréquence 88
ondes carrées 90
ondes porteuses 88
ondes sonores 88
ordinateurs 90

Sonomètre 99

bel 99
décibel 100
décibelmètre 100
unités de niveau 100
VU 100
VUmètre 100

CIRCUITS LOGIQUES

Addition logique 281

fonction OU 282
opération OU 281
portes OU 282
règles 282
table de vérité 282

Bascules 288

ambiguïté 287
bloquage 287
dispositifs de verrouillage 286
mémoires 286
multivibrateurs bistables 286
R 286
réglage 286
remise à zéro 286
S 286
table de vérité 287

Compteurs 94

Compteurs asynchrones 289

compteur binaire 289
configuration de base 289
état complémentaire 289
front descendant 290
numération binaire 290

Diviseur de fréquence 291

facteur de proportionnalité d'échelle 291

DÉPANNAGE

Code de sécurité 39
attention 39
précaution 39
radioactivité 39
remarques 39
risques particuliers 39
symboles 39

Déballage et instructions de montage 3

essai, réglages 39
exigences 39
schéma de câblage 40

Dépannage point par point 90
mode opératoire 90
oscilloscope 90
sonde R.F. 91
technique 91

Liste des pièces de rechange 40
commandes 41
numéros d'identification 40
numéros de pièces 40
représentation schématique 40

Mise à la terre et blindage 40
normes 40
perturbations électriques 40
sécurité 40
signaux indésirables 40

Manuels d'instructions des fabricants 38
dépannage 38
entretien 38

Tableau de dépannage 40
cause 40
mode opératoire 40
problème 40
solution 40
technique 40

Techniques de soudage 247
alcool 251
bonne soudure 247
chaleur 248
circuits imprimés 250
dessoudage 250
dissipateurs thermiques 248
douilles de CI 250
étain 247
étamage 247
extracteur 250
flux de résine 247
lubrifiants 251
oxydation 247
plomb 247
principes 247
résidus de résine 251
sécurité 249
solvants 251
soudage d'un joint 249
soudure froide 247
types de soudures 247

GÉNÉRATEUR DE SIGNAUX ET DE FONCTIONS

Générateurs de fonctions 86
amplitude 87
commandes d'affaiblissement 87
générateur d'impulsions 87
ondes carrées 86
ondes en dents de scie 86
ondes triangulaires 86
utilisation 87

Générateurs de signaux 86
circuit oscillant 85
cycle 85
fréquence 85
générateur de fréquence étalon 86
hertz 85
longueur d'onde 85
micro-ondes 86
ondes 85
ondes A.F. 86
ondes audiofréquence 86
ondes R.F. 86
ondes radiofréquences 86

Générateurs de signaux 137
A.F. 137, 138
analyseur de signaux 138
audiofréquence 137
générateurs de fonctions 137
générateurs de signaux étalonnés 137
générateurs d'impulsions 137
oscilloscope 138
R.F. 138
radiofréquence 137
salves d'impulsions 137
tube cathodique 138

Générateurs de signaux A.F. 138
bande 138
déphasage 138
fréquence fondamentale 138
harmonique 138

Générateurs de signaux R.F. 138
amplitude 139
excursion maximale 139
gamme 138
glissement 139
radiofréquences 138
signal R.F. à modulation extérieure 139
signal R.F. modulé 139
signal R.F. non modulé 139

Générateurs d'impulsions 94
amplitude 94
circuits de synchronisation 96
circuits d'horloge 96
commutateur électronique 97
comptage des impulsions 95
compteur à décades 95
détecteur 94
durée de l'impulsion 94
facteur de proportionnalité d'échelle 95
fréquence des salves 140
impulsions 94
intervalle 94
largeur d'impulsions 140
taux de répétition 94, 140
temps de chute 140
temps de montée 140

GRANDEURS ÉLECTRIQUES

Calculs de la puissance 23
combinaison des équations 25
équation de la perte en ligne 25
équation de la puissance 23
loi d'Ohm 21

Calculs relatifs à la loi d'Ohm 20
calcul de la résistance 22
calcul de la tension 22
calcul du courant 23
raccordement d'un ohmmètre 21

Calcul de l'énergie 26
kilowatt-heure 26
wattheuremètre 27
watt-heures 26

Conversion des unités 19
exposants 20
méthode 20

Grandeurs électriques 13
ampères 15, 17
capacité 18
charge électrique 19
conductance 18
conversion 15, 19
coulomb 19
farad 18
force électromotrice 15
grandeurs électriques 13
henry 18
inductance 18
intensité 17
intensité du courant 15
mesure 14
mesure directe 14
mesure indirecte 14
microfarad 19
ohm 15, 17
préfixes normalisés 16, 17
puissance 18
résistance 15, 17
système SI 15
siemen 18
système anglais 14
système métrique 14
tension 16
unités dérivées 14
unités fondamentales 15
volt 15, 16
watt 18

Notation scientifique 55
addition 56
calculatrices 58
division 56
E 58
élévation à une puissance 57
multiplication 56
ordinateurs 58
point décimal 58
soustraction 56

Valeurs 48
cycle 49
onde sinusoïdale 49

valeur de crête 49
valeur efficace 49
valeur instantanée 49
valeur maximale 49
valeur moyenne 49
valeur RMS 50

INTRODUCTION AUX MÉTHODES NUMÉRIQUES

grandeurs analogiques 263
représentation analogique 263
représentation des grandeurs numériques 263
représentation numérique 263

Inversion 285

opération NON 285
symbole 285
table de vérité 285

Logique binaire 278

algèbre de Boole 281
ampoules électriques 278
bandes magnétiques 278
coefficient d'utilisation 280
décision logique 280
délai de propagation 281
diodes 278
durée d'impulsion 279
entrées 280
fréquence de répétition d'impulsions 280
gamme de tension 278, 281
impulsions 279
information binaire 278
interrupteur fermé 278
interrupteur ouvert 278
largeur d'impulsion 279
niveau logique 281
niveaux de tension 278
onde carrée 280
période 280
portes logiques 280
relais 278
représentation 278
sorties 280
temps de descente 279
temps de montée 279
transistors 278
vitesse 279

Multiplication ET 283

opération ET 283
portes ET 284
règles 284
table de vérité 283

Portes NI 285

NON-OU 285
symbole 285
table de vérité 285

Portes NON-ET 285

table de vérité 286

Registres à décalage 287

bit 289
impulsion d'horloge 289
mémoires 289
mot binaire 287
transfert 288
transfert en parallèle 288
transfert en série 288

Vérifications logiques 294

analyseur logique 299
analyseur logique de synchronisation 299
analyseur logique d'état 299
appareil d'essai programmable 300
carte ROM 301
circuit intégré (CI) 294
comparateur logique 298
dépannage point par point 294
détecteur de courant 296
essai automatique 301
état logique 297
générateur d'impulsion unique 296
impulsions d'horloge 297
mode de vérification 294
niveau logique 295
oscilloscopes 299
pince logique 296, 298
plaque d'essai automatique 298
sonde logique 295, 298
synchronisation 299
trousse de dépannage 298
vérificateurs numériques spéciaux 300

MESURES

Accessoires des appareils de mesure 100

alimentations 100
boîtes de décades 101

boîtes de substitution 101
charge fictive 103
convertisseur 103
dissipateur de chaleur 103
enregistreur à bande 102
enregistreur électronique 102
enregistreurs sur papier 101
sondes de courant 101
sondes à haute tension 101
sondes R.F. 101

Étalonnage 71

dépannage de base 71
gamme 71

Formes d'ondes 139

carrée 139
demi-sinusoïdale 139
dents de scie 139
sinusoïdale 139

Manipulation de l'appareillage de vérification 51

choix 51
fils de raccordement 52
gamme 52
position 52
rangement 52
règles de sécurité 52
sélecteur 52

Mesures analogiques 75

affichage analogique 75
aiguille 75
entrée analogique 76
mesures numériques 76
valeurs numériques 76

Mesures des phases 186

déphasage 186

Mesures de base 174

amplitude 178
balayage à base de temps étalonnée 180
commande de balayage horizontal 180
déplacement du faisceau 175
durée d'impulsion 181
étalonnage 178
étalonnage avec tension alternative 180
étalonnage avec tension continue 179
figures de Lissajous 177
fréquence 176
front montant 182
onde en dents de scie 174
onde sinusoïdale 176
oscillogrammes 177
période 176
réglage du balayage 180
retour du spot 174
signal à étudier 176
suppresseur de faisceau 174
temps de descente 181
temps de montée 181

Mesure de l'amplitude 182

commande de gain 183
commande d'atténuation verticale 183
commande VOLTS/CM 183
étalonnage externe 184
étalonnage interne 183
impulsion rectangulaire 183
onde alternative 184
onde carrée 183
onde composite 184
onde continue 184
valeur crête à crête 182

Mesure de la capacité 132

capacité 132
déphasage 132
formule 133
impédance 132
méthode de substitution 133
microfarad 132
micromicrofarad 132
parallèle 132
picofarad 132
réactance capacitive 132
rephasage 133
série 132

Mesure de la fréquence 97, 186

appareil de mesure A.F. en pont 99
battement nul 98
dérive 97
figures de Lissajous 99, 187
ondemètre à absorption 99
oscilloscope 99
pourcentage de dérive 97
précision 97

Mesure de l'inductance 129

bobine 130
capacité parasite 131
circuit anti-capacitif de Wagner 131

courant 131
henry 130
impédance 130
inductance 129
parallèle 130
réactance 130
rephaser 131
résistance variable 131
série 130

Mesure en pont 121
balance 121
montage en parallèle 122
montage en série 121

Multimètre à transistors 74
impédance d'entrée 74
TVOM 74
voltmètres à semi-conducteurs 74

Multimètre à transistors à effet de champ 74
FET VOM 74
fonction 75
gamme 74
impédance d'entrée 74
réglage du zéro 75
TEC 74
transistor à effet de champ 74

Multimètre numérique 76
DMM 77
indications sonores 77
indications visuelles 77
mémoire de crête 77

Précautions générales d'emploi 70
haute tension 70
manipulation 71
ohmmètre 71
précision 71
résistances 71
sondes 71

Sondes 196
parasites 196
signal R.F. 197
sonde à compensation de fréquence 196
sonde à démodulation 197
sonde à faible capacité 196
sonde haute fréquence 196
sonde haute tension 197

Volmètre électronique 72
gammes de tension 73
résistance 73
sensibilité 73
VTVM 72

Volt-ohm-milliampèremètre 68
bouton de réglage du zéro 69
caractéristique 69
échelle 69
équipage mobile 68
inverseur de polarité 70
prises de raccordement 69
redresseur 69
sélecteur de fonctions 69
sensibilité 69
VOM 68

OSCILLOSCOPES

Caractéristiques 165
balayage externe 165
balayage interne 165
base de temps 160, 164
dispositif de synchronisation 165
distorsion 162
durée 162
effet de charge 163
fréquence 164
gamme des vitesses de balayage 164
impédance d'entrée 163
onde en dents de scie 164
réactance capacitive 164
réponse en fréquence 161, 162
réponse haute fréquence 164
sélecteur de synchronisation 165
sensibilité verticale 160
temps de montée 162
tension d'entrée nominale 161

Caractéristiques de l'écran 165
persistance 165
spot lumineux 166
vitesse d'impression 166

Caractéristiques spéciales 191
balayage déclenché 192
balayage récurrent 191
balayage retardé 192
balayage unique 192
impulsion de déclenchement 192

Commandes fondamentales 168
bornes de terre 171
AC GND DC 171
bornes 171
circuit d'étalonnage 172
commande de déplacement horizontal 170
commande de déplacement vertical 169
commande de gain horizontal 170
commande de gain vertical 169
commande de localisation 169
commande d'intensité 169
commande variable de balayage 170
EXT. CAP. 171
HOR LINE 170
H-INPUT EXT. SYNC. 171
LINE OUT 171
SAWTOOTH 171
sélecteur de balayage 170
sélecteur de fonctions 170
sélecteur d'entrée verticale 169
sélecteur horizontal 170
V INPUT 171
VERT GAIN 169
vernier 170
Z-AXIS 171
Oscilloscope de base 159
amplificateur 160
amplitude 157
atténuateur 160
balayage 160
base de temps 160
canon à électrons 158
circuit de commande 158
écran 159
fluorescence 159
fonctionnement 158
générateur de balayage 160
oscillateur 160
plaques de déviation 158
trace 157
tube à rayon cathodique 158
vitesse de descente 157
vitesse de montée 157
Oscilloscope à double trace 194
commutateur électronique 194
fréquence de commutation 194
Oscilloscope à mémoire 195
Photographie 197
Unités enfichables 196
Pont de Kelvin 126
équation 127
équilibre 127
faible résistance 126
Pont de Wheatstone 122
calcul 124
coefficients multiplicateurs 126
équilibre 123
formule fondamentale 125
galvanomètre 123
lecture 125
rapports de pont 125
tension 123
Pont d'impédances 133
coefficient de qualité 134
facteur de dissipation 133
facteur Q 134
fréquence 134
galvanomètre 134
nombre de mérite 134
oscillateur 134
résistance multiplicatrice 134
sélecteur 134
Potentiomètres 127
galvanomètre 129
mesure des tensions 127
mesures des intensités 127
méthode 129
pile étalon 127
résistances étalons 127
RADAR
Radar 146
effet Doppler 146
onde originale 146
onde réfléchie 146
radar à glissement de fréquence 146
radar à impulsion 146
radar à modulation de fréquence 146

SCHÉMAS

Diagrammes schématiques 32
analyse 35
dépannage 35
gabarit 34
présentation 32
relations électriques 32
séquence 32
symboles 32 et 34
trajectoire 32

Diagrammes synoptiques 30
dépannage 30
organigramme 30
succession des opérations 30

Schéma de câblage 36
diagramme schématique 36
schéma synoptique 36

Schéma d'interconnexion 36
borniers 36
circuits distinctifs 36
connecteurs multibroches 37
panneaux de commutation 36

Schéma en échelle 35
circuits de relais 36
interaction 36

SONAR

Sonar 146
sonar actif 146
sonar passif 146
vérificateur de câble TDR 147

SYSTÈMES DE NUMÉRATION

Système binaire 266
bit 267
caractères 269
compiage 267
conversion 269
élément binaire équivalent 268
incrément 267
mémoire de l'ordinateur 269
numération pondérée 267
ordinateur 266, 269
poids 271

Système décimal 265
numération scientifique 265
poids 265
valeur d'un chiffre 265
virgule décimale 265

Système hexadécimal 273
conversion 274
numération binaire 274
numération décimale 274
numération hexadécimale 274
système de base seize 273

Système octal 271
bits 271
conversion 272
système de base huit 271

VÉRIFICATION

Appareils pour vérification en circuit 238
boîtier DIL 240
circuits intégrés CI 238
circuits tri-dimentionnels 239
composants discrets 238
composants monolithiques 238
configuration 238
fiches techniques 240
JEDEC 240
manuels 240
pince de vérification 241
puce 240
systèmes de numérotation 240

Appareils de vérification pour semi-conducteurs 236
courants de fuite 236
diodes 236
FET 236
facteur bêta 236
facteur d'amplification 236
SCR 236
traceurs de courbes 236
vérifications 236

Sélection des appareillages de vérification 44
affichage numérique 44
amortissement interne 45
blocage 45
changement de gamme 45
échelle à zéro supprimé 44
échelles logarithmiques 44
effet de charge 47
erreur de mesure 47
erreur de parallaxe 46
estimation des lectures 45

graduations équidistantes 44
lecture de l'échelle 44
linéaire 44
logarithmique 44
loi d'Ohm 47
miroir 46
ohm par volt 48
précision 45
sélecteur de gamme 44
sensibilité 46
zéro supprimé 44

Shunts 78

boite de shunts 79
calcul de la résistance de shunt 81
calcul des résistances multiplicatrices 79
commutateur de gammes 79
dérivation 78
équipage mobile 79
facteur de multiplication d'échelle 81
gamme d'intensité 82
haute fréquence R.F. 79
mode 79
résistances multiplicatrices 79
sonde 79

Transistors 230

base 230
collecteur 230
coupure à la jonction 232
détérioration 232
durée de vie 232
émetteur 230
identification 231
simple vérification 230
transistor NPN 230
transistor PNP 230
valeurs de résistance directe 232
vérification des jonctions 232

Vérifications 50

appareils de mesure étalons 50
générateur de fréquence 50
générateur étalon 50
sonde H.F. 50
tension basse fréquence 50
tension haute fréquence 50

Vérificateurs de continuité 83

Vérifications des composants actifs 226

anode 228
cathode 228
diode 226, 227
diode zener 229
diodes au germanium 228
diodes au silicium 228
essai rapide 228
mise en garde 226
ohmmètre 226
polarisation 228
porteurs de charges négatifs 227
porteurs de charges positifs 227
précautions 226
redresseur 228
résistance directionnelle 228
semi-conducteurs 226
tension nominale 226
transistors 226
tubes à vide 226
type N 226
type P 226

Vérifications des composants passifs 211

banc d'essai 212
bobine 211
causes de dérangement 213
composants passifs 211
condensateur 211, 212
identification 212
manuel de l'opérateur 212
notions élémentaires 212
problème intermitent 212
résistance 211, 214
ruban-cache 212
schémas 212
transformateur 211

Vérifications des condensateurs 216

appareils de mesure 219
capacité 216
capacité parasite 216
coefficient de surtension 221
condensateurs électrolytiques 218
condensateurs purs 218
diélectrique 216
farad 217
microfarad 217
ohmmètre 217
picofarad 217
plaques 216
pont de capacités 217
pourcentage de dissipation 221
résistance de fuite 218

tension de claquage 217
tension limite 217
valeurs de capacité 218

Vérifications des redresseurs commandés au silicium 233

anode 233
cathode 233
claquage 234
état bloqué 233
état passant 233
gâchette 233
identification des bornes 234
polarisation 233
SCR 233
symbole 233
tension d'amorçage 234

Vérifications des résistances 214

équation de base 215
galvanomètre 214
loi d'Ohm 214
méthodes 214
pont de résistances 214
code de couleurs 216
ohmmètre 216
précautions 216
tolérance 216

Vérifications des transformateurs 221

enroulement primaire 222
enroulement secondaire 222
formule 222
inductance mutuelle 222
nombre de tours 222
noyau de fer 222
pertes de puissance 222
puissance 233
rapport de transformation 222
rendement 223
transformateurs d'isolation 222

Vérifications des inductances 219

bobine d'arrêt 219
coefficient de surtension 219
déphasage 220
facteur de surtension 220
henry 219
impédance 219
inductance 219
Q-mètre 219
transformateur 219

Vérifications des triacs 235

bornes 235
état bloqué 235
état passant 235
gâchette 235
polarisation 235
symbole 235
tension d'amorçage 235

DE L'ÉLECTRON AU MICROPROCESSEUR

8015 Principes du courant continu
8016 Principes et composants du courant alternatif
8017 Appareils et mesures électriques
8018 Appareillage électrique
8020 Mesures électroniques et instrumentation
8021 Circuits réactifs
8022 Composants électroniques
8023 Circuits électroniques de base
8024 Systèmes électroniques
8025 Dépannage d'appareils et systèmes électroniques
8026 Circuits impulsionnels
8027 Circuits logiques
8028 Circuits intégrés linéaires et numériques
8029 Systèmes d'ordinateurs industriels de base
8030 Introduction aux microprocesseurs
8031 Applications des microprocesseurs
8032 Instrumentation et contrôle électroniques
8033 Applications de circuits électroniques industriels
8034 Applications de systèmes électroniques industriels de base
8035 Techniques avancées de dépannage

Gouvernement du Québec
Ministère de l'Éducation
Direction des cours
par correspondance

Imprimé au Québec, Canada